

# ビジネス情報 2019

[松本治彦]

2019年3月

宇部フロンティア大学出版会

著者 松本治彦

発行者 宇部フロンティア大学 出版会

発効日 2019. 3. 30

## 目 次

1. はじめに	3
2. ビジネス情報の概要	3
各論	11
3. 地下資源の現状と将来？	11
4. 新エネルギーの現状と将来？	23
5. 蓄電池、リチウムイオン電池の現状と将来？	32
6. レアメタルの確保は？	45
7. 水ビジネスの将来性？	49
8. 燃料電池と水素社会はいつ？	52
9. 炭素繊維の現状と将来？	82
10. 宇宙産業の将来性？	85
11. 農業の将来性？	89
12. GPS、位置情報	92
13. 5G、Society5.0	95
14. 量子コンピューター	99
15. 自動運転、空飛ぶクルマ	104
16. 人と人工知能	111
17. IoT	163

# ビジネス情報 2019

## 1. はじめに

この本は、主に新聞記事を抜き出した資料をもとに作成しています。各単元での私の説明の後には、それぞれの分野について各自で内容を確認し、理解を深めてください。特に、記事よりわかる年代の違いでそれぞれの分野がどのように変化したのかを理解してください。

## 2. ビジネス情報の概要

### 2-1. 地下資源の現状と将来？

#### 【非在来型ガス：シェールガス・オイルなど】

従来のガス田ではない場所にある新型ガス田から産出される天然ガス。泥土が堆積した頁岩層にある「シェールガス」、石炭層に含まれる「炭層ガス」、砂岩に含まれる「タイトサイドガス」がある。従来技術では開発が難しかった。シェールガスの場合、岩盤内に水平に井戸を掘り、高圧の水などを注入する採掘技術の開発で産出コストが低下した。

#### 【メタンハイドレート】

天然ガスの主成分メタンと水でできた氷状の結晶。「燃える氷」とも呼ばれる。水の分子が結びついたカゴの中にメタン分子を閉じ込めた構造をしている。

深海底や永久凍土層のような低温高圧の環境で作られる。不安定で気化しやすく、深海からの採掘コストも高額なため、安全で安価に利用するための技術開発を、国が進めている

### 2-2. 新エネルギーの現状と将来性？

#### 【バイオ燃料】

農産物や林産物など生物由来の有機性エネルギー資源。京都議定書では、バイオマス（生物資源）を燃やしても二酸化炭素排出量には換算されない。

植物原料を菌などで分解して糖にし、発酵させて得るエタノールなどの燃料。

温暖化対策として世界的な需要拡大が見込まれ、国内でもガソリンに一定量を混ぜた燃料が販売されている。ただ、サトウキビやトウモロコシなど食料になる植物を原料にすると、穀物相場の高騰や食糧不足を招く懸念がある。

今後は廃棄される茎や稲わらなど非食料を原料にする動きが主流になる見通しで、繊維成分の高効率な分解技術が求められる。

#### 【主なバイオ燃料】：

トウモロコシ、サトウキビなどは大量生産が可能で普及しやすいが、穀物価格の高騰を

招く可能性もある。ワラ、草などの原料は豊富。生産に多くのエネルギーが必要で、技術開発の余地が多い。

間伐材など木くずは日本には豊富。山林からの運搬に多くのエネルギーを消費する可能性もある。

家庭ごみや廃棄食品は都市ガスで実用化も、不純物の除去などに新たな設備を設置する必要がある。藻など植物プランクトンは水があれば一定の条件で培養できる。効率を高めるには、高額な運転装置が必要。

#### 【藻類】

光合成で酸素を発生させる生物で、水中に生息しているものの総称。コンブなどの海藻からミドリムシといった微細な生物まで様々。

二酸化炭素を吸収し、増殖もしやすいため温暖化対策への技術利用に関心が高まっている。細胞内外に油分を含み、例えばシュードコリスチスという藻類は軽油に近い成分を持つとされる。

日本のエネルギー自給率は原子力を除くと4%にとどまっており、石油などの代替燃料での実用化が期待される。その他、家畜のえさや繊維などへの用途拡大も見込む。

#### 【再生可能エネルギーの全量買い取り制度】

太陽光や風力、地熱などの再生可能エネルギーで発電した電気を全量、電力会社が固定価格で買い取る制度。

2011年8月に再生エネルギー特別措置法が成立、導入が決まった。再生エネルギーの発電設備は初期投資がかさみ、発電コストは火力発電などに比べて割高。

そのため買い取り価格を高め設定し、事業者が採算を確保できるようにして普及を後押しする。2012年7月の施行までに第三者委員会で適切な買い取り価格や期間を議論したうえで制度の詳細を決める。

**2012.4.26 読売「太陽光買取 42 円、再生エネ、発電側要望認める、経産省委員案」**

### 2-3. 蓄電池、リチウムイオン電池とその将来？

#### 【蓄電池とは】

電気エネルギーを蓄え、必要な時に取り出せる電池。アルカリ乾電池などとは違い、充電すれば繰り返し使える。自動車バッテリー用の鉛電池が有名。携帯電話やノート型パソコンの普及に伴い、1990年代、有害物質のカドミウムを使わないニッケル水素電池が量産化された。さらに、軽量で、放電ロスの少ないリチウムイオン電池が登場、電気自動車などに使われている。

**日経 2017.8.11 EV 大転換、これが持続可能な未来だ、さらば石油、世界も揺れる**

「太陽光で作った電気を蓄電池でためて EV で使う。これが持続可能な未来だ」。テスラのカーン・ケルティ・シニアディレクターはこう語った。

## **2-4. レアメタルの確保は？**

レアメタル (rare metal) は直訳すれば「まれな金属」という意味で、希少金属とも表記する。埋蔵量が少なかったり採取が難しかったりするため、生産量や流通量が非常に少ない金属のことです。

1つの金属の名称ではない。国際的な定義はないが、日本では経済産業省がプラチナ、ニッケルなど 31 種類の金属をレアメタルに指定している。

このうちレアアース (希土類) は科学的な性質が近い 17 元素の総称なので、レアメタルは元素の数では 47 になる。

## **2-5. 水ビジネスの将来性？**

### **【水ビジネスとは】**

水に関係する事業の総称。上水、工業用水、産業用水、下水、淡水化、流域の環境保全などの事業がこれにあたる。

また、業態で分けるとプラント建設、水処理膜などの素材供給、施設の維持管理などが含まれる。現在、世界では水不足の問題が深刻化、これに伴い上下水道事業を中心にした水ビジネス市場の急拡大が見込まれている。

世界ではすでに「水メジャー」と呼ばれる欧州系企業が寡占的な地位を占める。日本もこれに対抗すべく産官学連携の動きが盛んになってきた。

## **2-6. 燃料電池と水素社会はいつ？**

### **【燃料電池・水素の基本的な知識】**

燃料電池は、水素と酸素の化学反応を利用して電気を作る発電装置。水素を燃料電池のマイナス極に供給、また空気をプラス極に供給することにより、電気を発生させる。

燃料電池は、高分子電解質膜に触媒を塗った MEA (Membrane Electrode Assembly : 膜/電極複合体) をセパレーターで挟んだ「セル」と呼ばれるもので構成されている。一つのセルの電圧は 1V 以下と小さいため、数百ものセルを直列に接続し、電圧を高めている。セルを重ねて一つにまとめたものを「燃料電池スタック」、または「FC スタック」と呼んでいる。一般的に「燃料電池」と言う場合は、この燃料電池スタックのことを指している。

水素を利用した燃料電池の特長は、エネルギー効率の良さ。水素を燃やすことなく直接的に電気を取り出せるため、理論的には水素の持つエネルギーの 83% を電気エネルギーに変えることができる。ガソリンエンジンと比較すると、現時点では、およそ 2 倍以上の効率を誇る。

## **2-7. 炭素繊維の現状と将来？**

### **【炭素繊維とは】**

アクリルを高温で熱処理して生産する軽量・高強度の産業用繊維。2007 年の世界需要は

約 35000 トン。樹脂と組み合わせた複合材料の「炭素繊維強化プラスチック」が航空機、自動車向けの部材として急速に普及すると予想され、炭素繊維の需要は 12 年には約 7 万トンに拡大する見通し。炭素繊維にはコールタールなどを原料とする別タイプもある。価格が高く再資源化が難しい弱点はあったが、炭素繊維製の部品を低コスト化するための成型加工技術、リサイクル技術の開発が進み、本格普及期を迎えようとしている。炭素繊維の生産量と耐用年数などから推計し、使用済み炭素繊維強化プラスチックの量は 25 年に 4 万トン近くになると予想される

## 2-8. 宇宙産業の将来性？

日経 2018.3.13 スペース X のマスク CEO、火星旅行「19 年前半にも」

読売 2017.3.12 エレベーター宇宙へ GO、総工費 10 兆円、2050 年完成？ケーブル強化、実現のカギ

日経 2017.3.8 ベゾス氏経営の宇宙 VB、初の打ち上げへ、スペース X と競争激化

日経 2017.2.28 月へ旅行、来年中に、米スペース X、自動操縦、1 週間で往復

日経 2017.2.20 再打ち上げへ体制強化、JAXA ミニロケット、技術者を増員

2014.12.6 日経 米、新宇宙船打ち上げ、有人探査へ試験機、30 年代、火星目指す計画、中開発、中印が台頭

## 2-9. 農業の将来性？

2015.3.16 日経 衛星データで無人農業、日本版 GSP から「宝の山」全国で誤差 5 cm 以内

2015.2.19 日経 農協改革、成長産業への一歩、地域の自主性課題、営農・販売会社で「第 2 幕」を、全中縮小で地域に即した農業振興へ前進、地域農協の自主性向上へ経営能力が課題、各農協に営農・販売会社設け外部と連携を

2016.1.26 日経 植物工場パナソニック、シンガポールに進出、芽吹くアジア、生鮮野菜安全に提供、国内生産の 5%目標

### **【植物工場】**

植物工場とは、光や温湿度を管理してレタスやニンジンなどの野菜を栽培する屋内施設。太陽光を利用して光熱費を抑えつつ不足光量を人工光で補う太陽光型と、人工光のみ使う人工光型がある。

いずれも土壌に左右されず完全無菌で生産可能だ。栽培期間も露地栽培の半分に短縮できる。

## 2-10. GPS・位置情報

GPS ; 位置情報の誤差 約 10m

ロシア GLONASS ; グロナス、24 基体制で誤差は約 50～70m

EU Galileo ; 30 基体制 誤差は約 1m

中国 北斗 ; 3 基体制 誤差は約 10m

インド IRNSS ; 7 基体制 誤差は 10～20m

日本 みちびき ; 4 基体制 誤差は 6 cm程度

### 【準天頂軌道】

通信衛星や放送衛星、気象衛星「ひまわり」などの静止衛星は、赤道上空の「静止軌道」を地球の自転速度に合わせて飛行する。常に日本から見える位置にあるが天頂付近は飛行しない。日本の準天頂軌道は赤道面から 40～50 度斜めに傾いた軌道で、日本のほぼ真上にいる時間が長い。

みちびきは GPS 衛星と合わせて測位しているが、準天頂衛星が 7 基体制になる 23 年度には、GPS 衛星に頼らず位置情報が得られるようになる。

## 2-11. 5G と Society5.0

IoT 社会の実現を後押しする基盤技術の一つが、次世代通信「第 5 世代 (5G)」だ。5G が持つ「超高速」「超低遅延」「多数同時接続」という特性が、IoT 社会におけるデジタルトランスフォーメーション (事業変革) を促す起爆剤となる。

「超低遅延」; 通信のやり取りの際に発生するタイムラグが千分の 1 秒以下とほとんどなくなる。

### 【Society (ソサエティー) 5.0】

人類社会は狩猟、農耕、工業と変遷し、今は情報社会。こう位置付けた上で、5 番目となる未来の社会を指したもの。

世界では蒸気機関、電力、コンピューターに続く「第 4 次産業革命」が進む。あらゆるモノがネットにつながる「IoT」や人工知能 (AI) の進展。これらをうまく活用した「超スマート社会」を意味する。

政府内で「ソサエティー5.0」が初めて登場したのは、2016 年度に始まった第 5 期科学技術基本計画。今回の骨太の方針でめざすべき社会像として位置づけた。

ドイツが「インダストリー4.0」、米国は民主導で「インダストリアル・インターネット」、中国も「中国製造 2025」と称する。

## 2-12. 量子コンピューター

光電子などの極微の世界で起こる物理法則を示す「量子力学 (20 世紀に登場)」を応用して計算するコンピューター

特長は最大で従来型コンピューターの 1 億倍以上という演算速度

汎用的な「量子ゲート方式」の量子コンピューター

基本素子に日本企業がノウハウを持つ半導体材料を採用

グーグルなどが取り組む超電導状態を生かす手法よりも低コスト化

D ウェーブ・システムズが「量子アニーリング」と呼ぶ方式

CMOS（相補性金属酸化膜半導体）を使った回路を用い、特定の計算で量子コンピューターに匹敵する性能

### 【量子科学】

電子や原子など微小な領域で起きる現象を説明する量子力学に基づいた科学。

こうした現象を応用することで、超高速計算を可能とする量子コンピューターや盗聴が事実上不可能な量子暗号通信の実現が期待されている。

次世代のレーザー加工やセンサー技術などへの応用も想定される。経済成長につながるイノベーションや軍事技術への応用などから欧米や中国が力を入れている。日本も量子科学技術研究開発機構を昨年に発足させるなど研究体制を強化している。

### 【重ね合わせ状態】

電子や光子など「量子」と呼ばれる極微の世界では、不思議な物理法則が成り立っている。その一つが「重ね合わせ状態」だ。

例えば、0と1のコートに分かれてドッジボールをする場合、ある瞬間、ボールは0か1かのどちらかにある。

だが、ボールを電子に置き換えると、その位置は1カ所に定まらず、両コートのうち一定の確率で存在する。

電子はある瞬間、0にも1にも存在する。この不思議な状態は「重ね合わせ」と呼ばれ、量子の位置の他、自転の位置で起こる。量子コンピューターは、そうした量子の性質を利用している。

## 2-13. 自動運転・空飛ぶクルマ

### **2019.1.24 日経 空飛ぶタクシー、試験飛行に成功、米ボーイング**

ボーイングは23日、自動運転による「旅客航空車（PAV）」の試験飛行に成功したと発表した。試作機は自動制御でヘリコプターのように垂直に離陸し、空中で静止するホバリングをした後に着陸した。

### **2018.10.5 日経 町ぐるみで自動運転**

トヨタ自動車や筑波大学、茨城県つくば市などは2019年度から、市民の足を自動運転車でつなぐ町ぐるみの実証実験を始める。自学から最寄りのバス停まで1人乗りの電動車で運び、市内外への移動は燃料電池などバスで賄う。22年度まで実験し、関連技術を実証する。少子高齢化や過疎化など地方が抱える課題の解決につなげる。

## 2-14. 人と人工知能

日本企業のオフィスに自動化の波が押し寄せている。起爆剤はパソコンを使う単純作業

を自動化するソフトウェア「RPA（ロボティック・プロセス・オートメーション）」。工場  
で起きたような自動化の動きがホワイトカラーに及ぶ。

変化に対応するには人間が創造的に働いて仕事の付加価値を高められるような人材教育  
や法制度の整備が不可欠になる。

AIの急速な進化が社会を変えようとしている。2045年にはAIが人間の能力を超えると  
される「シンギュラリティ」が起きるといわれるほか、人間の仕事の多くがAIに奪われる  
との予測も出ている。

今の大学生、高校生が社会の第一線で活躍する頃、AIと人間の関係はどうなっているの  
か。

## **2-15. IoT**

いろいろなモノをインターネットにつなぐIoT(Internet of Things)。モノのインターネッ  
トと呼ばれ、成長戦略を支える柱の1つ。

これまでインターネットにつながるものは、パソコン、スマートフォン、タブレット端末  
を前提にしていた。IoTでは、ネットにつなぐものが家電、自動車、センサーなど様々なも  
のに広がる。

### **その他の重要項目**

#### **【洋上風力、地熱、バイオマス、海洋の発電能力、2030年に発電能力の1割に】**

2012年8月環境省、新目標

4種類の発電能力を1941万kwに（10年度の6倍）

海洋エネルギー（潮力、波力）

太陽光・水力は10%から25～30%に

化石燃料は63%から50%に

原子力は26%から20～25%に

#### **【2030年までの経済産業省の目標と水素とガソリンのコスト比較】**

日本全体で燃料電池車を1500万台、水素ステーション8500カ所を目標としている。

コスト：電気分解では水素1kgの生産に8ドル前後かかる。しかし、大量生産すると3  
ドル前後になる。

水素1kgでガソリン3.8リットル分のエネルギーが得られる上、燃料電池の効率はガソリ  
ンエンジンの3倍。

水素はガソリンに見劣りしない燃料。

#### **【2050年ごろのエネルギー】**

地熱発電

太陽光発電（家庭用中心）

燃料電池（家庭用発電、水素を直接燃料に）

波力、風力発電を使って水素を貯蓄する

燃料電池車(水素を燃料とする)

スマートグリッドを使い、家庭用で電力が余った場合は、水素を作って貯蓄し、家庭用発電、車への燃料とする

**【日本の誇る製品（物質）】**

炭素繊維（飛行機、車の材料）

リチウムイオン電池（EV 充電器）

燃料電池（車、家庭用の発電システム）

スマートグリッド（賢い送電網）

ナノテク（分子レベルの技術、ナノマシンへ）

新エネルギー（非食料起源のバイオ燃料、人工光合成）

## 各論

### 3. 地下資源の現状と将来？

ここでのキーワードはシェールガス・オイルです。

#### 【非在来型ガス：シェールガスなど】

従来のガス田ではない場所にある新型ガス田から産出される天然ガス。泥土が堆積した頁岩層にある「シェールガス」、石炭層に含まれる「炭層ガス」、砂岩に含まれる「タイトサイドガス」がある。従来技術では開発が難しかった。シェールガスの場合、岩盤内に水平に井戸を掘り、高圧の水などを注入する採掘技術の開発で産出コストが低下した。

#### 【資源問題】

メタンハイドレート（静岡一和歌山県沖調査、国内天然ガス消費量の14年分）  
海底熱水鉱床（金、銀、銅、亜鉛、鉛などの硫化物、数万～数百万トン、日本の排他的経済水域にある資源の埋蔵量は世界一）

コバルトリッチクラスト（マンガン団塊、希少金属のコバルトを多く含む）

天然ガス（東シナ海の白樺ガス田で約6400万バレル）

シェールガス、オイルシェール：岩盤内部の石油、取り出すには水圧で破碎など特殊な技術が必要

技術革新が進みコストが低下、採掘可能に

オイルシェール埋蔵量は従来型の原油1兆3331億バレル（2009年時点、英BP）並み

#### 【石油メジャーとは】

石油メジャーとは、原油の探鉱、開発・採掘（上流部門）、から石油の精製、石油製品の販売（下流部門）までを一括して手掛け、世界規模で事業展開している石油会社を指している。特に、第二次世界大戦後から1970年代まで、石油の生産をほぼ独占状態に置いた7社をセブン・シスターズと呼んでいます。それは、

1. スタンダードオイルニュージャージー（後のエッソ、その後1999年にモービルと合併しエクソンモービルになってい）
2. ロイヤルダッチシェル（オランダ60%、英国40%）
3. アングロペルシャ石油会社（後のブリッティッシュペトロリアム、2001年に会社名の変更 BP）
4. スタンダードオイルニューヨーク（後のモービル、その後、1999年にエクソンと合併してエクソンモービル）
5. スタンダードオイルカリフォルニア（後のシェブロン）
6. ガルフオイル（後のシェブロン、一部はBP）
7. テキサコ（後のシェブロン）

次に、スーパーメジャーは

1. エクソンモービル (2008 年度、売上高 4773 億ドル)
2. ロイヤル・ダッチ・シェル (2008 年度、売上高 4584 億ドル)
3. BP (2008 年度、売上高 3657 億ドル)
4. シェブロン (2007 年度、売上高 2209 億ドル)
5. トタル (フランス石油、2008 年度、売上高 1799 億ユーロ)
6. コノコフィリップス (2007 年度売上高 1885 億ドル)

次に新セブンスターズ (国営企業 7 社) としては

1. サウジアラムコ (サウジアラビア)
2. ペトロナス (マレーシア)
3. ペトロbras (ブラジル)
4. ガスプロム (ロシア)
5. 中国石油天然気集团公司 (ペトロチャイナ、中国)
6. イラン国営石油 (NIOC, イラン)
7. ベネズエラ国営石油 (PDVSA、ベネズエラ)

### 【OPEC とは】

石油輸出国機構 (OPEC)、サウジアラビア、クウェート、イラン、イラク、ベネズエラの産油 5 か国によって 1960 年に結成された。欧米の国際石油資本 (メジャー) に対抗し、原油の価格支配力を握るのが狙い。各国は国内にあるメジャーの石油利権に対し資本参加や国有化を進めて、自国の生産量を制御するようになった。現在は、ナイジェリア、アルジェリアなども含め 15 か国、原油埋蔵量で世界全体の約 8 割、生産量では約 4 割を占めている。同盟国が一致して生産量を調整することで原油価格に影響を及ぼす。1970 年の石油危機では、原油の供給減により価格引き上げに成功した。しかし、米国が 2010 年代からシェールオイルの生産量を増やし、現在、日量 1000 万バレルを越えている。米国の生産量はサウジアラビアやロシアと肩を並べる。このため、原油価格に対する OPEC の影響力は以前よりも低下している。

### 【エネルギー問題】

1914 年アメリカ内務省は石油埋蔵量 10 年と予測

1939 年同内務省は 13 年間と声明

1970 年代カーター大統領「今後、10 年以内、全世界の確定石油埋蔵量をすべて使い果たす可能性がある」

1970 年の世界の石油埋蔵量 5500 億バレル

1970~1990 年の間に全世界で 6000 億バレルを消費、差し引きすると 500 億バレルのマイナス

1990年までに未開発の埋蔵量 9000 億バレル、ある地域のタールサンド、タールシェール、オイルシェール埋蔵量 9 兆バレル、サウジアラビアの 20 倍

#### 【石油の商業生産あと 41 年 OK】

2012.12.5 石油鉱業連盟、在来型石油で 2010 年まで 41 年、在来型天然ガスは 47 年と発表。

2010 年の石油生産量 293 億バレル、確認埋蔵量は 1 兆 2 千億バレル

2012.12.6 日経「石油の商業生産、あと 41 年 OK、シェールは対象外、実際はもっと長く」によると

【可採年数】 在来型石油→41 年（前回より 3 年増）、在来型天然ガス→47 年（前回より 4 年減）ただし、非在来型は対象外である。

【枯渇までは】 在来型石油→73 年（前回より 5 年増）、在来型天然ガス→84 年（前回より減）

ここでは、エネルギー地政学が大変換する記事を 2 つ掲載します。

① 2013.2.13 日経「シェール革命の影響上、買い手優位、世界で顕著に、米輸入縮小が響きロシア産ガスがアジアへ、シェール革命の影響は東アジアで最も顕著、消費エネルギーの一定量は自分で賄う必要、LNG 価格是正を急げ」

昨年 1 年間で「シェールガス革命」や「シェール層開発」の認知度が高まった。シェール（頁岩）とは、地質学的には泥岩の一種で、その隙間は 100 万分の 1 mm。メタンの分子サイズは 1000 万分の 1 mm で、泥岩の隙間の 10 分の 1 の大きさ。一般にガスはその分子の 10 倍程度の隙間では移動性に乏しくシェール層内に滞留する。これがシェール層に封じ込まれていたシェールガスで、近年米国で本格的に実用化された水平掘りと水圧破碎により、地上に取り出すことが可能になった。シェールガスの登場は既存のガス供給国間の利害関係や消費国との関係を根本的に変えたといつてよい。シェールガス開発の影響はまず、米国のエネルギー需給に変化をもたらした。

米エネルギー省が昨年 7 月に発表した 2012 年版「年次エネルギー見通し」では、05 年に 60%程度であった石油の純輸入比率は 11 年には 49%に低下、35 年には 36%と予測。00 年前後の年次エネルギー見通しでは 20 年時点の石油の純輸入比率は 60%程度になるとみていたが、シェール層開発が石油自給率の大幅な改善をもたらした。

天然ガスに関しても 11 年の純輸入比率は 11%だったが、20 年過ぎには需給が均衡し、35 年には 5%程度の純輸出に転じるとみられる。米国のシェール層開発が国際エネルギー情勢に及ぼす影響は既に顕在化している。1990 年代後半に米国はガス需要の増加を北米での供給増では充足できず、2000 年代初めには消費量の約 10%を輸入で賄うに至った。その時点では、将来の需要を充足するには大量の LNG 輸入が不可欠とみられ、全米各地に LNG 輸入ターミナルの建設が計画された。エネルギー見通し 04 年版でも、米国の 25 年の LNG 輸入量は 1 億トン以上に膨らむと見積もられていた。しかし、その後本格化したシェールガス生産により、これらの建設計画の大方は雲散霧消した。その一方で、ガス生産国（カタール、ナイジェリア、トリニダード・トバコ、赤道ギニア）は、米国の LNG 輸入を当て

込んで生産能力を大幅に拡張した。しかし米国との契約に至らなかったため、大量の LNG を長期契約以外の形態で取引せざるを得なくなった。米国に持ち込めなかった LNG はスポット（臨時取引）市場に流れ、主に欧州市場で売買されている。シェールガス開発の本格化と軌を一にして起きたことは、LNG 取引の買い手市場化である。中でも欧州のガス・電力会社がロシアからの長期契約ガスの取引をやめて、スポット LNG に切り替えたことが象徴的。こうした玉突きの結果、最も重要なのは、ロシア産ガスの行き先が欧州からアジアにシフトしつつあること。

一方、中国は 06 年に LNG 輸入を開始。そして 09 年末にはトルクメニスタンから天然ガスの輸入を開始、11 年 11 月には 600 億 $m^3$ まで増産することで合意。中国の天然ガス需要は 90 年の 147 億 $m^3$ から、00 年に 245 億 $m^3$ 、10 年には 1076 億 $m^3$ に増加。さらに 20 年には 3800 億 $m^3$ に増える見込み。中国は環境対策面から天然ガスの導入を重点的に進めており、これからもその方向性は変わらない。20 年のガス需要の内訳に関しては、在来型国内天然ガス生産が 2000 億 $m^3$ 、シェールガスが 1000 億 $m^3$ 、コールベッドメタン（石炭層に含まれる天然ガス）と LNG 輸入合わせて 800 億 $m^3$ という絵が描かれている。11 年 4 月に米エネルギー省がまとめたレポートによると、中国のシェールガス資源量（回収可能量）は、世界最大の 36 兆 $m^3$ に達する。第 2 位は米国の 24 兆 $m^3$ 、第 3 位はアルゼンチンの 22 兆 $m^3$ 、以下メキシコ、南アフリカ、オーストラリア、カナダの順。中国のシェールガス開発は世界のエネルギー需給のみならず、地球温暖化対策の方向性に大きな影響をもたらす。

シェールガス革命がもたらした地殻変動が最も顕著で、今後さらに先鋭化するとみられるのが東アジアである。東アジアには今 3 つの大きなガス供給の波が押し寄せようとしている。ロシア産ガスの東方シフト、シェールガス開発を背景とした北米産 LNG の流入、中国のシェールガス国内開発の 3 つである。これらに日本のメタンハイドレート開発が加わり、2020 年代にはこの 4 つの大きな流れが均衡点を模索することになると予想される。

このうち北米産 LNG は、今月 6 日に東京電力は三菱商事と三井物産を通じて年間 80 万トンを 17 年から輸入する計画を発表。輸入のみならず、LNG プロジェクトの権益確保も進んでおり、中部電力・大阪ガス連合、三井物産・三菱商事連合、住友商事・東京ガス連合の 3 プロジェクトは、合計で最大輸出能力 3000 万トンの LNG プロジェクトに参画している。こうした大きな流れの中で、今後日本が目指すべきは国際 LNG 価格体系の是正である。日本の天然ガスの調達コストは 12 年 9 月には、100 万 BTU（英国熱量単位）当たり単価で米国の天然ガス指標価格（ヘンリーハブ）の 6 倍に達した。その後はやや沈静化しているが、エネルギー輸入金額の増加は貿易収支悪化の一因となっている。

日本の LNG の調達コストが高い理由の一つは、天然ガスパイプライン網が未整備であること。もう一つは、量の確保を優先して長期契約を採用していることである。同契約では原油価格連動方式が採用されており、シェールガス革命によるガス価格低下の影響を受けない。

LNG 取引の決済価格には今日、合理的な価格体系の再構築が求められている。そうした

中で、韓国は米国産 LNG を基地の出口で買う方向で交渉している。その場合、取引価格は米国の市場価格に液化コストを上乗せする形で決められる。結果的に、韓国の北米産 LNG 導入が東アジア向けの LNG 価格体系見直しの契機となる可能性が高い。

前述した東アジアにおける 4 つの大きな流れの均衡点を模索するに当たっては、日本が自前資源を持つか否かにより、その地政学的意味は大きく変わる。北米産 LNG の輸入確保はロシアに対する牽制球となり、ロシア産ガスの輸入は中東・アジアの既存 LNG 供給者に対して大きな価格是正圧力となる。そして何より日本がガス価格交渉で一定の発言力を確保するには、需要全体の 10%でも自前の資源を持つことが必要。

エネルギーベストミックスは結果における絶妙なバランスの実現ではなく、消費するエネルギーの一定量についてはあらゆる手段を講じて自分で賄うという戦略意思に関わる問題に他ならない。

日本は天然ガス調達の選択肢が少なくないことを十分に認識し、かつそうした立場を強化するためにも、エネルギー自給率の改善をもたらすメタンハイドレートの開発を確実に進めることが重要。今年 1 月 28 日、JOGMEC は「ちきゅう」を用いて、愛知県渥美半島沖で海洋産出実装実験に着手。同事業では準備作業を終了し、メタンハイドレート分解によるガス生産実験が実施される。着実な成果が上がることを期待したい。

## ② 読売 2017.12.24 「シェール革命」地政学激変、エネルギー競争（国際政治学者ジョセフ・ナイ）

世界情勢の中長期予測を米大統領に提供する国家情報会議 (NIC) が 2008 年の報告書「世界潮流 2025」で示した主な予測の 1 つに、エネルギー獲得競争激化があった。当時は中国のエネルギー需要が増加し、北海油田など OPEC 以外の供給源は減退しつつあった。それまで 20 年間、低めで比較的安定していた原油価格は 08 年に 1 バレル当たり 100 ドル以上に急騰した。多くの専門家が「ピークオイル」論を唱え、石油埋蔵量は「限界」に達して、枯渇していくという考え方である。そうした論者は、石油生産は低コストだが不安定な中東地域に集中していくと予測した。だが中東では、サウジアラビアさえ油田は開発しつくされ、新たな巨大油田の発見はないだろうと思われていた。米国も、輸入エネルギーへの依存度がますます高まっていると見られていた。それが価格の高騰と相まって、米国の地政学的な影響力の大きな足かせになる。当時はそのように思われていたのだ。NIC の分析官たちは、驚くべき技術革新の可能性を無視していたのではなかった。だが関心のむけ方が的外れだった。太陽光や風力、水力など再生可能エネルギーのもつ潜在性を強調するあまり、本命を見落としていたのである。真の技術的突破口を開いたのは「シェール革命」だった。水平掘削と、超高压で岩石を砕く水圧破碎の技術自体は新しくない。だがこれを、シェール層と呼ばれる硬い頁岩に用いたのが画期的だった。15 年までに、米国内の天然ガス生産の半分以上がシェール層からもたらされるようになった。このシェールブームは、米国をエネルギー輸入国から輸出国の座に押し上げた。米エネルギー省は国内で技術的に

採掘可能なシェールガスの総量を約 25 兆 m<sup>3</sup> と推定している。他の石油やガス資源との組み合わせによって、あと 2 世紀は持つだけの量だ。国際エネルギー機関 (IEA) も、北米では 2020 年代にエネルギーが自給自足できると予測している。液化天然ガス (LNG) 輸入のために建設された諸施設は、今や輸出用へと転換されている。世界市場も変容した。以前は、ガス市場がパイプラインに依存していたせいで地理的制約があった。ロシアはガス供給をてこに、欧州に政治的・経済的な影響力を及ぼしていた。だが、LNG によってガス市場に一定の柔軟性がもたらされ、ロシアの影響力は減少した。05 年に 15 しかなかった LNG 輸入国は、今や 3 倍に増えている。

シェールオイルやシェールガスを掘るための井戸は規模が小さくて済むことも、市場価格の変動に対する柔軟な対応を可能にしている。従来の油田やガス田なら、長年にわたって何十億ドルの投資を行ってきた後で井戸を開いたり閉じたりするのは難しいだろう。だがシェール開発では井戸は小規模かつ安価で、価格の変動に応じて開くもの閉めるのも簡単だ。つまり、米国は世界の炭化水素エネルギー市場において受給の調整役を担う産油国 (スイング・プロデューサー) に地位を獲得した。米ハーバード大のミーガン・オサリバン教授が最近の著書で指摘しているように、シェール革命は米国の外交政策にとっても数多くの意味合いを持つ。オサリバン教授は、新たに豊富なエネルギーを獲得したことで米国のパワーは増大する、と述べている。確かに、シェールエネルギーの生産は経済を刺激し、より多くの雇用が創出される。輸入が削減されれば、国際収支も改善される。新たな税収によって財政にも余裕が生まれる。電力が安価になれば国際競争も強化される。特に石油化学やアルミニウム、鉄鋼などエネルギー集約型産業で効果が大きい。影響は国内政治にも及ぶ。一つは心理的なものだ。「米国の衰退」という神話を国内外の多くの人々が信じ込むようになって久しい。そしてしばしば米国衰退の根拠に挙げられていたのが、輸入エネルギーへの依存の高まりだった。シェール革命がそれを変えた。さらに、米国の強さの根底には起業家精神と所有権と資本市場の相乗作用があることを、改めて見せつけたのである。その意味でシェール革命は、米国の持つソフトパワーの魅力をも増進したのだ。懐疑的に論者は、輸入エネルギーへの依存低下は、米国が中東から手を引くことにつながるのではないか、という懸念を唱える。だが、そのような見方は、エネルギー経済学の読み間違いだ。戦争やテロ攻撃によってホルムズ海峡を通過する原油やガスの流れが止まれば、米国と、同盟関係にある欧州諸国や日本の石油価格は極度に跳ね上がってしまう。しかも米国は、中東において石油以外にも多くの関心事を有している。核拡散防止やイスラエルの保護、人権、テロ対策などである。米国は、中東で手を広げすぎることには慎重になっているように見える。だが、それは、高くついたイラク戦争と、民主化運動「アラブの春」が広くもたらした混乱の経験を反映したものだ。シェール革命で政治的な「エネルギー独立」が達成され、中東に関与しなくても済むようになる、といった幻想のせいでは決してない。一方米国は、石油の禁輸制裁をてこにを使って、核開発計画を断念させる交渉にイランを引き込むことに成功した。それができたのも、日量 100 万バレル相当のイランの輸出

分をサウジアラビアが進んで肩代わりする意欲を示したことに加え、シェール革命が生み出す漠然とした期待感が大きく役割を演じた。米国の外交政策にシェールエネルギーがもたらす恩恵は、まだ他にもある。ベネズエラのような国が、国連やカリブ海の地域機構で石油を使った票を買う力もそがれる。ロシアが、ガス供給切断をちらつかせて近隣諸国を屈服させることも、できなくなるだろう。要するに、エネルギー地政学における地殻変動が起きているのだ。エネルギー価格の将来は、誰も見通せない。世界市場では当分、穏当な価格が続くかもしれない。だがもちろん、こうした予測は、技術革新のほか政治的要因によっても覆されてしまう可能性がある。技術的進歩は供給を増大させ、価格を引き下げる。政治的要因が供給を妨害し、価格の上昇を招くこともあり得る。ただ、こうした昆明が激烈なものになっても、長期化したりする可能性は、シェール革命が起きた今となっては極めて低い。それもまた、シェール革命が地政学的革命であることの証拠なのだ。

つぎに、最近の動向について以下に掲載する。

### 日経 2019.3.21 サウジ、減産に前のめり、「拡大 OPEC」確立の思惑

サウジアラビアが原油生産量を絞り込んでいる。1、2月と石油輸出国機構（OPEC）の協調減産の合意より踏み込んで減らし、さらに削減する構えだ。自らのシェアを落とし、原油高を嫌うトランプ米大統領の怒りを買いかねない。それでも減産を主導するのは、価格下支えと同時に「拡大 OPEC」ともいえる生産調整の枠組みを確立するためかもしれない。協調減産に加わる OPEC と非加盟のロシアなどは 18 日の会合で、6 月末までに今の減産を維持する方針を確認した。「産油国の協力で、原油市場は正しい方向に進んでいる」。サウジのエネルギー産業鉦物資源相はこう強調した。サウジが非加盟のロシアなどを巻き込んで協調減産を始めたのは 2017 年 1 月、3 年目に入った協力体制は「OPEC プラス」と呼ばれるようになった。サウジの生産量は 1 月に日量 1024 万バレル、2 月は 1014 万バレルと、目標数値を下回った。3 月以降も一段と減らす姿勢を重ねてアピールしている。国際エネルギー機構（IEA）によると、サウジの 2 月の減産順守率は 153%。OPEC で減産に取り組む 11 か国でみても 94% と高いのは、サウジの貢献が大きい。ロシアの減産の出足が鈍いのを補う面もある。冬は設備の凍結を防ぐため、ロシアは生産水準を落としづらい事情がある。減産が守られているとの見方から、相場は堅調だ。WTI（ウエスト・デキサス・インターミディエート）原油先物は 1 バレル 59 ドル前後。昨年末の 1 年半ぶり安値より 4 割高い。米中貿易戦争による景気減速懸念や、米国の増産といった売り圧力を中和している。サウジが率先して減産の実効性を高めた効果だが、副作用もある。「減産してもシェールオイルの増産で相場は安定せず、自らのシェアを落ちす」とエレメンツキャピタルのは林田取締役は指摘する。既に米国の生産量は世界一だ。中東産原油と比べ割安感が強く、アジアにも輸出を増やしている。IEA は 24 年までの石油市場見通しで、米国の原油・石油製品の輸出量がロシアを抜いて世界 2 位になり、首位サウジに迫ると予想した。OPEC が影響力の低下を警戒していないはずはない。「そうなる前に米国に対抗する「OPEC プラス」

として存在感を高める意図があるのではないか」と楽天証券の吉田アナリストはみる。トランプ氏は 2 月末、ツイッターで原油価格上昇を改めてけん制し、協調減産の緩和を暗に求めた。サウジは昨年と異なり、減産を緩めるそぶりを見せていない。相場下落を招いては元も子もないとの警戒感に加え、協調減産のタガが緩むのを避ける思惑がにじむ。世界の原油生産量に占める OPEC のシェアは 3 割だが、ロシアなど非加盟の減産参加国と合わせると 5 割に迫る。生産調整が市場に与える影響力は増す。一時的に身を切っても、サウジがこの体制の結束力を高める動機は十分にある。

#### **日経 2019.1.25 米シェール製品あふれる、中国関税上げでアジア流入、市況急落、日本勢に痛手**

米中貿易戦争が日本の石油化学業界に影響を及ぼし始めている。米国ではシェールガスから基礎化学品のエチレンを作るプラントが相次いで稼働したが、最大の輸出先と見込んでいた中国が米国製品の輸入関税を 25%引き上げ、輸出が細った。行き所を失った製品がアジアなど他地域に流入し市況は急落。米中の貿易戦争が長引けば、好調だった日本の石化各社の業績の足を引っ張りそうだ。

#### **日経 2019.1.14 米原油生産 45 年ぶり首位、エネルギー地政学一変、シェール寄与、脱中東、米国第一が加速**

米国の 2018 年の原油生産量が 45 年ぶりに世界最大になった模様だ。シェールオイルがけん引して 10 年で 2 倍強に膨らみ、輸入への依存度は 30 年ぶりの低水準に下がる。原油の供給を頼ってきた中東への積極関与が薄れ「米国第 1」の外交・安保政策に拍車がかかるのは必至。米国は輸入より輸出が多い純輸出への転嫁も視野に入り、世界のエネルギー地政学が一変しそうだ。

米エネルギー情報局 (E I A) や業界の推計によると、18 年の米原油生産は日量平均 1090 万バレル前後と前年比約 2 割伸びた見込みだ。17 年は 3 位だったが、昨年 9 月までに 2 位のサウジアラビアと首位のロシアを抜いて勢力図が様変わりした。シェールオイルは技術革新によるコスト低減で 1 バレル 50 ドル以下でも採算がとれるようになった。

生産増で原油を国外に頼る構造が変わっている。輸入から輸出を差し引いた純輸入が国内消費に占める割合は 18 年に 30%を下回った公算が大きく、1988 年以来の低水準。需要拡大が顕著になった 90 年代半ば以降は 4~5 割で推移してきた。

石油輸出国機構 (OPEC) からの輸入は直近ピーク (08 年) の約 5 割と 31 年ぶりの低水準にまで下がってきたことで、「中東の重要性は薄れてコストを払ってまで介入しなくなる」。米国が長らく「世界の警察官」として振る舞ってきた理由の 1 つはエネルギーの安定確保だ。国内油田の資源減少が鮮明になっていた 1973 年の第 4 次中東戦争は石油危機につながり、急激な物価上昇で世界経済に打撃を与えた。

このため石油依存を深めていった中東では、91 年の湾岸戦争など地域の秩序維持を主導してきた。だが昨年 12 月に内戦の続くシリアからの米軍撤収を表明。エネルギー安全保障の観点から中東に積極関与する政策の後退が鮮明になっている。

一方で米国は石油危機の経験で禁止していた原油輸出を2015年の解禁後から急激に伸ばしており、18年11月最終週にはサウジアラビアやロシアなどに次ぐ世界4位の規模にまで膨らませている。

市場では米国の存在感に関し、「OPECが減産で価格を上げようとする「神通力」が低下する」と、相場の押し下げ要因になるとの見方が強い。

原油相場は足元で1バレル50ドル前後で推移している。米国の増産は「想定以上のペースで続けば上値を抑える」とも意識され、原油収入に財政を頼るロシアや中東の統治基盤を揺さぶる可能性もある。米国の原油と石油製品をあわせた輸出は昨年11月に週間に一時的に輸入を上回り、同じ基準で遡れる1991年以降初めて純輸出になった。シェールオイルの生産は掘削資金の調達環境などで振れる面もあるが、ダニエル・ヤーギン氏は「20年代初頭には年間でも純輸出に転じる」と予測する。

トランプ政権は世界へのエネルギー供給を源泉に新たな覇権を目指している。原油の輸出入収支は17年に1100億ドル(約11兆円)のマイナス。モノ全体の赤字の14%を占め、輸出拡大で貿易赤字を減らす思惑もある。天然ガスはすでに17年に純輸出国に転じている。米国はエネルギー消費大国から輸出大国への道を走り始め、資源を背にした世界の政治力学に変化を及ぼしている。

#### **日経 2018.7.28 エネルギー覇権、米の野望、原油・LNG輸出、3位射程、通商交渉の切り札**

トランプ米政権がエネルギー輸出を中国などへの貿易赤字解消の切り札にしようとしている。「シェール革命」で米国内で生産できる資源が増え、2020年のLNGの輸出能力は17年の輸出実績の5倍の年間7千万トン級になえる見通し、原油でも世界3位の輸出国になる勢いで、ロシアや中東との覇権争いが激しくなれば世界のエネルギー地政学を変える可能性がある。「米エネルギーの黄金時代が間もなくくる。それは米国の黄金時代でもある」。トランプ米大統領は17年6月、演説でこう宣言してから1年余り、実効権家に移りつつある。米国は17年に天然ガスの純輸出国に転換、シェールガスや原油の輸出による覇権への野望を隠さない。米エネルギー情報局(EIA)によると、米国のLNG輸出量は17年、前年比4倍の1500万トン、19年には3600万トンとなる見通し。これは世界最大のLNG輸出国である日本の年間輸入量(8350万トンの約4割、世界需要の約12%に相当する。建設中のLNGプラントが全て完成すれば生産能力は約7千万トンとなり、マレーシアを追い抜き、カタールとオーストラリアに続く世界3位のLNG輸出国となる。原油輸出でも世界3位を射程に入れた。17年に日量110万バレルで前年比89%増えた。18年6月に一時同300万バレルに達し、サウジアラビア(同700万バレル)、ロシア(同500万バレル)、イラク(同400万バレル)などに続く水準だ。生産量は22年に17年比2割増の同1110万バレルになる見通し。同1千万バレル規模を生産するのはサウジとロシアだけだ。エネルギー情報会社IHSマークイットによると、シェール開発が盛んなバーミアン地区では生産量が23年に2倍となり、米国の原油輸出を同年に同400万バレルまで押し上げると予測する。実現すれ

ば世界 3 位のイラクを抜く。石油危機を受け 1973 年に「エネルギーの自立」を目指す方針を打ち出した米国は、本土からのエネルギー輸出を控えてきたが、シェール革命を受け政策を転換。トランプ政権はエネルギーを安全保障や通帳交渉を動かす切り札にする。

LNG は対象外

中国との貿易戦争では、エネルギー輸出で対中貿易赤字を削減できるとの思惑もある。中国は世界 2 位の LNG 輸入国。30 年の輸入量は 2 倍強年 8200 万トンに達するもようだ。……

政権の成果訴え

**日経 2018.6.22 米国産 LNG 輸入開始、熱量付加コスト課題、転売など取引条件で利点**

米国産の LNG の輸入開始。エネルギー調達限の多様化を促すと期待。課題も、米国などで増産が進む天然ガスは燃焼時の発熱量が低い「低熱ガス」とされ、企業が輸入して供給する場合、熱量を増やす設備を導入する必要などがある。新たなコスト増を懸念も強まってきた。将来、国内需要の 1 割を LNG で輸入。転売がしやすい。……

**日経 2018.3.6 米シェール、6 年で 74%増、IEA 石油生産予測、市況回復で弾み**

国際エネルギー機関 (IEA) は 5 日発表した 2023 年までの石油市場見通しで、米シェールオイルの生産が 23 年に 17 年比で 74%増の日量 780 万 9000 バレルになるとの見通しを示した。23 年に米原油生産全体 (天然ガス液など含む) も約 3 割増の日量 1690 万 1000 バレルに拡大。世界で米国産原油の影響が強まるとした。

「シェール革命の第 2 波が続いており、米国だけで世界の (原油生産) 成長の約 6 割を占める」。IEA のファティ・ピロル事務局長は同日の会見で、当面、米国の原油生産は活発な状況が続くとの見方を示した。IEA は想定以上にシェール勢を中心とする米原油の増産ピッチが速いことなどから、米原油生産量の予想を 17 年に比べ大幅に上方修正。原油市況の回復や生産性改善でシェールの増産に弾みが付き、23 年まででシェールオイルだけで日量 332 万バレル増えると予想する。同期間で世界の原油生産増加分 (日量 640 万バレル) の半分以上をシェールが占める。

米国で石油増産が進むと世界市場の需給悪化が懸念されるが、ピロル事務局長は「既存の油井は年平均で日量 300 万バレル枯れている。底堅い原油需要に見合う開発投資は十分ではない恐れがある」と話した。世界同時の景気拡大などで、石油需要は 23 年に 17 年比 7%増の日量 1 億 470 万バレルになる予想。自動車向けガソリン需要の伸びは鈍化するが、石油化学向け原油需要が堅調に伸びる見通しだ。一方、石油会社が投資効率を重視していることを背景に、17 年の大型油田など従来型原油の開発は過去最低水準の日量 400 万バレルを割り込んだという。IEA は投資が需要に追い付かなければ、将来的に原油市況の変動が激しくなりリスクが高まるとしている。

**日経 2018.2.25 米、原油生産世界一へ、シェール増産しやすく、今年、市場「ロシア抜く可能性」**

**日経 2018.1.31 次世代エネ日本と協力、脱・原油へ水素製造、サウジアラムコ社長会見、**

## 株式公開「年後半メド」

サウジアラビアの国営石油会社サウジアラムコの CEO は、石油販売への依存度を減らすため、原油から水素を取り出す技術で日本企業と協議に入った。アジアで石油化学工場などへの投資を加速。史上最大規模となる新規株式公開（約 11 兆円）は、2018 年後半をめどに実行すると明言。アラムコは世界の原油生産の 1 割近くを握り、売り上げの大半を原油販売に依存。

英仏が将来のガソリン車販売を禁じる方針、脱化石燃料の流れが加速。そこで、温暖化ガスを排出しない水素の利用拡大に向け「原油から水素を取り出す技術の実用化を日本企業と議論している」と述べた。・・・

## 日経 2018.1.7 石油需要、いつ頭打ち、EVシフトで分析相次ぐ、20～30 年代予測分かれる

今後 5～20 年で世界の石油需要が頭打ちになる。こんな石油ピーク論が再び勢いを増している。英国やフランスを筆頭に EV への大胆なシフトが進むほか、シェア経済などの構造転換が広がるためだ。EV の技術開発等ハードルもあってピーク論には懐疑的な声も多く、産業界を巻き込んだ分析が活発になっている。

### 【シェールガスの時間経過】 2010～2018.3 まで

2010.10.4 読売「シェールガス 市場に革命、岩盤に含有、新技術で掘削、開発参入、価格下落」によると、

革命は約 10 年前、1 バレル 70 ドルで採算、2009 年に米国はロシアを抜いて世界最大の天然ガス生産国に、米国は 5 割、中国は 8 割の電力を石炭で発電、再生可能エネルギーの普及にはブレーキが、弱みは水と環境問題

2012.4.13 日経「天然ガス、日米価格差 9 倍」

2012.4.21 日経「シェールガス革命、企業動かす、米国内に生産回帰、ダウ・ケミカル、世界最大級の工場」

2012.5.17 日経「シェールガス革命、米発電燃料に変革迫る、原発・再生エネに逆風」

ガス価格の低位安定が続く限り風力、太陽光などの再生可能エネルギーは（コスト競争力）太刀打ちできない。

2012.5.17 日経「シェールガス革命、米国から世界へ、解放されたエネルギー」によると、

米エネルギー情報局によるシェールガス推定埋蔵量は、中国 1275、米国 862、アルゼンチン 774、南アフリカ 485、オーストラリア 396、ポーランド 187、英国 20 兆立方フィートとなっている。

2012.7.12 日経「エネルギー戦略、迫られる大転換下、シェールガス革命、注視を、再生エネ、拡大に時間、日本は効率改善牽引を」

2012.9.6 読売「シェールガス、米外交追い風、露・中東弱まる支配力、同盟国に広く分布」

2013.2.7 日経「シェール革命、米の影響力一段と、世界の構図、変える可能性、マネーの

流れ・産業競争力・安全保障、日本、安定調達に生かせ」

2013.2.7 日経「米、日本にシェールガス、来月にも輸出解禁、17年開始にらむ」

2013.2.13 日経「シェール革命の影響上、買い手優位、世界で顕著に、米輸入縮小が響きロシア産ガスがアジアへ、シェール革命の影響は東アジアでも最も顕著、消費エネルギーの一定量は自分で賅う必要、LNG 価格是正を急げ」によると、

東アジアには今 3 つの大きなガス供給の波が押し寄せようとしている。ロシア産ガスの東方シフト、シェールガス開発を背景とした北米産 LNG の流入、中国のシェールガス国内開発の 3 つである。これらに日本のメタンハイドレート開発が加わり、2020 年代にはこの 4 つの大きな流れが均衡点を模索することになると予想される。

2013.2.14 日経「シェール革命の影響下、石油供給増、産油国に難題、技術進歩で資源不足懸念薄れ力関係が変化、米とカナダのエネルギー政策が世界に影響、国家主義的な南米諸国も政策転換の可能性、外資誘致競争激化も」

2013.3.3 日経「フラッキング（大量の水で掘削）、環境汚染、規制の動き」

2014.8.17 読売 米、産油大国に、シェールオイル急増、来年にも世界一、輸出禁止、緩和の動きも

2014.9.28 日経 中国シェール、夢さめて、高コストの現実、目標下げ

2014.12.1 日経 シェール革命、米石油生産に存在感

2015.1.7 「読売 原油安、欧州不安が波及、原油安の背景は？中東勢、シェールオイル潰し」によると、

米国産のシェールオイルは 1 バレル＝60～80 ドルを下回ると採算割れになるとみられている。

2015.12.20 日経 米産原油価格下げ圧力に、40 年ぶり輸出解禁、シェール増産態勢

2016.1.13 日経 「原油市場見えない新秩序、NY30 ドル割れ目前、新興国の需要低迷・過剰供給、投資滞ればリスクも」によると、

米原油市場で指標原油の 1 バレル 30 ドル割れが目前。12 年ぶりの安値は新興国が牽引する需要の低迷と、産油国が制御不能に陥った供給過剰の帰結。

2016.2.26 日経 米シェール赤字 4 兆円、昨年大手 7 社、黒字から一転、産油量なお高水準、サウジなど調整滞る一因

日経 2017.2.10 シェール巡る日米の思惑

日経 2017.2.22 減産合意後の原油相場の行方、需要堅調、供給過剰解消へ、シェール増産には限界も

日経 2017.3.4 「石油メジャー収益体質改善、原油安を経てスリム化」によると、

約 2 年間続いた原油価格の長期下落を経て、欧米の石油メジャーの収益体質が改善。英蘭ロイヤル・ダッチ・シェル、英 BP などが石油開発の目安とする油価は今や 1 バレル 40 ドル。

日経 2017.3.10 NY 原油先物が続落、一時 48 ドル台

日経 2017.3.10 米原油在庫、最高水準に、シェール増産受け、減産主導のサウジ警戒感  
日経 2018.2.25 米、原油生産世界一へ、シェール増産しやすく、今年、市場「ロシア抜く可能性」  
日経 2018.3.6 「米シェール、6年で74%増、IEA 石油生産予測、市況回復で弾み」によると、

### メタンハイドレート

天然ガスの主成分メタンと水でできた氷状の結晶。「燃える氷」とも呼ばれる。水の分子が結びついたカゴの中にメタン分子を閉じ込めた構造をしている。深海底や永久凍土層のような低温高圧の環境で作られる。不安定で気化しやすく、深海からの採掘コストも高額なため、安全で安価に利用するための技術開発を、国が進めている。

#### 【メタンハイドレートの時間経過】

2011.1.23 日経「海底資源 採掘へ着々 日本近海に豊富、探査で明らかに」  
正確な埋蔵量は不明だが、日本の天然ガス消費量の100年分が存在するとの試算もある。  
2011.1.30 読売「メタンハイドレート開発、掘削船「ちきゅう」投入」  
2012.3.4 日経「メタンハイドレートで資源国に？ 近海に豊富、本格利用は遠く」  
2013.2.5 日経「国産ガス開発加速、メタンハイドレート日本海で調査、佐渡南西沖では4月から試掘、輸入頼み脱却急ぐ」  
2013.3.13 読売 「純国産」メタンに期待、海底から初採取、効率・安定生産が課題  
2014.12.25 日経 メタンハイドレート確認、新たに4海域746カ所  
2015.1.3 日経 日本海側調査10カ所超、来年度に埋蔵量把握、経産省、23年以降、商業化にらむ。  
日経 2017.3.16 次世代エネ50社連携、メタンハイドレート、千代田化工、日揮など、技術開発に新組織

## 4. 新エネルギーの現状と将来？

### 【再生可能エネルギーの全量買い取り制度】；

太陽光や風力、地熱などの再生可能エネルギーで発電した電気を全量、電力会社が固定価格で買い取る制度。

2011年8月に再生エネルギー特別措置法が成立、導入が決まった。

再生エネルギーの発電設備は初期投資がかさみ、発電コストは火力発電などに比べて割高。そのため買い取り価格を高めめに設定し、事業者が採算を確保できるようにして普及を後押しする。

2012年7月の施行までに第三者委員会で適切な買い取り価格や期間を議論したうえで制度の詳細を決める。

2012.4.26 読売「太陽光買取42円、再生エネ、発電側要望認める、経産省委員案」

発電方式	買い取り価格(税込)	業界要望の価格
大規模太陽光	42円	42円
風力	23.1円	22～25円
小型風力	57.75円	50～55円
地熱	27.3円(1.5万kw以上)	25.8円(3万kw級)
中小水力	25.2～35.7円	24～34.06円
バイオマス	13.65～40.95円	14.5～39円

電源別の発電コスト(円/キロワット時あたり；2010年のモデル事例)

	2010年	2030年
地熱	9.2～11.6	9.2～11.6
原子力	8.9～	8.9～
LNG火力	10.7	10.9
石油火力	20.8～22.4	23.8～26.7
石炭火力	9強	
太陽光(住宅)	33.4～38.3	9.9～20.0
風力(陸上)	9.9～17.3	8.8～17.3
風力(海上)	9.4～23.1	8.6～23.1
小水力	19.1～22.0	19.1～22.0

2018～2019年度の買い取り価格

太陽光(10kW未満) 24～27円

太陽光(10kW以上2000kW未満) 18円

太陽光(2000kW以上) 入札制度

陸上風力 16～20円

洋上風力 36円

地熱(1.5万kW以上) 26円

中小水力 12～34円

バイオマス 17～40 円

バイオマス（間伐材由来 2000kW 未満）40 円

下記に最近の記事を掲載する。

### 2019.3.2 日経 再生エネ普及壁は送電線、空き不足、各地で顕在化、東電。増強も工期 10 年、使用権は先着順、使われぬ「原発枠」も一因

再生可能エネルギーが送電線の空き不足でつなげな問題が広がっている。東電ホールディングスの管内では茨城県で空きが無くなり、同社は工事費約 300 億円を投じて送電網の増強を検討している。ただ工期は約 10 年を見込み、新たに発電事業を行うには長期間、工事の完成を待つ必要がある。東北などでも送電線の空き不足が生じており、再生エネ普及の足かせになっている。

これから茨城県の大部分と栃木県の一部などで新たに発電所をつくる事業者は、新設される送電線の仕様を申請し、空きを確保する必要がある。送電網の工事が終了するまでつなげない。募集枠は原発 6 基分の 600 万 kW ある。

17 年には東北エリアでも再生エネが急増し、既存の送電網の空き容量が不足し問題となった。広域機構と東北電力は 1300 億円と 11 年の工期をかける大規模送電網の建設を検討している。ただ、洋上風力の開発計画が多い東北では 350 万 kW 分の応募に対して 15000 万 kW 分の応募が集まり、多くの事業者が送電網を使う権利を得られていない。

送電線の空き不足は、需要が少なく送電線が太くない地域で再生エネが拡大したことで表面化した。関東は送電網が整備されている地域とされていたが、実際には再生エネ拡大に耐えられなくなった。洋上風力計画が相次いだ千葉県でも、多くの送電線の空きが「ゼロ」となっており、「茨城のように送電網の増強を待たなければならない可能性が高い」。

電力会社や政府は送電線の空きが足りなくなることをほとんど想定してこなかった。政府が再生エネの固定価格買い取り制度をスタートさせ、太陽光パネルを設置する事業者が増えた結果として空き不足が問題となっている。送電網の空きが不足するというのは、必ずしも容量が満杯になるほど電気が送られているという意味ではない。送電の「権利」が埋まった状態を指す。発電事業を営みたい場合、送電線を使う権利を得なければならない。権利は先着優先だ。発電していない原子力発電所や太陽光発電所でも権利をおさえている。東京電力が福島県に持つ原発は動いていないが、権利は持っている。東北地方では長く運転を停止していたり、建設中だったりする原発が権利を押しやっていることに批判があがった。政府は実際に流れる電力量を計算した上で、原発 40 基分の空きを作り出せるとはじいている。非常用の送電線で流す制度の運用を一部で始めた。ただ、つないだ先の送電線が埋まっている場合などは空きを確保できない。改善策として、使用枠が確保されている送電線が空いている期間に、他の発電事業者が使える制度が浮上している。ただ、権利を持つ事業者が発電を始めれば使えなくなる。送電線が混雑した場合の金銭的補償については政府が議論中だ。

ドイツには先着優先でなく、再生エネを優先して送電線につなぐルールがある。それでも送電能力が足りず、発電を抑えるケースが増えている。校と大学の安田教授は「送電線の実際の流れに基づく精密な空きの計算や、使用权を市場取引で確保できる手法を広げるべきだ」と話す。

#### **2019.2.14 日経洋上風力、日本で始動、オリックスや独大手参入、法整備で広がる商機、コストや地元理解課題**

欧州で普及が進む洋上風力発電が日本でも動き出す。オリックスは千葉県沖で約 1 千億円を投じ設備を新設するほか、独電力最大手エーオンも日本市場に参入する。政府は再生エネルギーを主力電源に育てる計画で、洋上風力が新法や補助制度で後押しする。コストの高さなど課題は多いが、脱石炭を促す投資マネーの動きもあり新規参入や技術開発が加速する。

日本の再生エネは太陽光が主力だが、天候によって発電量が不安定で投資も鈍っている。陸上風力は騒音問題などもあり、設置できる地域が限られている。中長期的に有望な洋上風力を普及させたい政府と、収益事業に育てたい民間の思惑が一致。普及に向け動きが本格化する。オリックスは銚子沖で 17 万世帯分の消費電力に相当する 20 万 kW、約 20 基の大型風車発電を設置、2025 年度にも運転開始。欧州で 180 万 kW の洋上風力開発の実績のあるエーオンが国内電力会社と提携し、施設計画に参画。東電は洋上風力世界最大手のアーステッド（デンマーク）と組み参画を目指す。丸紅は英シージャックス買収、日本での事業性調査。三菱重工はデンマークの企業と合弁。

洋上風力は欧州が先行、早くからルールを整備、技術開発を進め、洋上の風車は 11 か国で 4 千基以上。日本の電力消費量は世界 4 位、海域の利用ルールが未整備で洋上風力はほとんどない。総発電量に占める風力の比率が英独などで 1 割を超えるのに対し、日本は 1% 未満。

#### **2018.11.22 日経太陽光発電価格引き下げで紛糾、政府、国民の負担を軽減、事業者、遡及適用は理不尽**

太陽光発電の固定価格買い取り制度（FIT）の見直し方針が波及を広げている。政府は 2012～14 年度に認定を受けたまま発電を始めていない案件で買い取り価格を減額する方針だ。過去の計画に遡って条件を変更することに一部の発電事業者から異論が出ている。国民負担を軽減するという大義名分はあるものの、制度への不信感が広がれば再生可能エネルギーの普及に向け禍根を残しかねない。

買い取り価格を 21 円に下げる。経産省が 10 月 22 日に提示した省令の見直し委員は未稼働案件に厳しい条件を突き付けている。メガソーラーなど事業用の発電施設では、つくた t 電気を固定価格で大手電力会社に売っている。FIT 導入直後の 12 年度は 1kW 時当たり 40 円、13 年度に 36 円、14 年度は 32 円と減額されたが、18 ねんど（18 円）に比べると高い。12～14 年度設定の未稼働案件について、送電網に電線をつなぐ工事の着工申込を電力会社が 19 年 3 月までに受領しなければ買い取り価格を大幅に引き下げる。

## 2018.9.13 日経太陽光、育成から競争へ、事業用に入札制・買取半額、普及進まぬ恐れ、送電網への接続改善課題

経産省は12にちの省内の審議会で、再生可能エネルギーの固定価格買い取り制度(FIT)の見直し案を示す。事業用の太陽光発電の原則すべてに入札制を導入、2022年度にも1kW時あたりの買い取り価格を18年度の半額以下の8円程度に下げることを目指す。政策の軸足をこれまでの高額買い取りによる育成から、コスト重視の競争路線へと移す。

## 2018.8.11 日経太陽光発電真夏の支え、猛暑なのに節電要請いらず、なぜ、出力ピーク、需要と時差、管内の5分の1賄う

記録な猛暑が続く日本列島、エアコン使用が増えて電力需要は伸びているにもかかわらず、政府が国民に節電を要請するような事態にはなっていない。2011年の東日本大震災以降、稼働する原子力発電所は大きく数を減らしている。なぜ、電力は足りているのか。その謎を解くカギの一つが、ここ数人で急速に普及した太陽光発電だ。電力各社は管内の夏の需要を事前に予測し、政府に報告する。「10年に1度の猛暑」との予測に基づいて需要をはじき出し、安定供給に最低限必要とされる3%の「予備率」を確保できると5月に発表した。

原発停止で供給が不安定だった震災後は経済産業省が夏に節電を要請していたが、16年以降は見送りが続く。世耕経産相は7月24日に「今、節電をお願いする状況には全くない」と語った。「何せ太陽光発電が1000万kW弱ありますから」。東電HDの関係者はこう明かす。東電管内の電力需要は足元で5000万kWを超えるが、瞬間的には5分の1ほどを賄っている計算になる。企業や家庭の屋根などに取り付けられた太陽光パネルからの電気を制度に基づき買取っている影響が大きい。福島第一原発の事故前、東電は年間の電力供給ベースの3割弱が原発だった。だが、現在稼働ゼロ。しかも需要が増えた際に追加で発電する石油火力発電所2基を7月から長期停止した。余裕の戦略を「ソーラーが支えているのは間違いない」。そもそも国内全体で電力需要が減った影響もある。震災を機に節電意識や家電の省エネ化が進んだ。日本の夏のピーク時の需要は10年度に1億7800万kWだったが、16年度は約12%減った。ただ今夏は半分以上の電力会社が予想を上回る需要を既に記録した。国内で10年度は合計約50基の原発が稼働し、年間の電力供給量の25%を占めていた。現在は関西電力で2基、九電で3基が稼働するだけ。ただ、今夏に電力需給でヒヤットとする場面があったのは比較的余裕があるはずの感電だった。関電は7月17、18日、事前契約した工場などに節電してもらって「ネガワット取引」を初めて発動。東電なども実施例がある新卒の需給安定策。それでも18日には需給がひっ迫し東電などから計100万kWの融通を受けて乗り切った。とはいえ、関電の全体的な供給力が足りないわけではない。実際、19日の電力需要は前日を上回ったが、関電は「フォーメーションを毎日変えるため」と解説する。電力各社は基本的に前日の段階で、予想最高気温などから翌日の電力需要を予想。それにあわせて「予備力」の火力発電所などを動かし、供給力を調整する。関電は17日の段階で18日の最大電力を2770万kWと予測していたが、融通を受けた18日午後

4時～5時は「異例だが100万kWも多かった」という。業界関係者はこの時間帯に注目する。「昔は真夏の暑さは午後2時～3時ごろだったが、今は夕方にシフトしている」。関電の幹部はこう話す。夕方は日が落ちてきて太陽光発電の出力がガックと落ちる時間帯でもあり、需給バランスが崩れやすくなっている。実際、関電エリア内では18日昼ごろに、350万kW超だった太陽光の発電量は午後4時から5時に半分以下の160万kWまで落ちた。関電はこの傾向は織り込み済みとするが、午後4時を過ぎても大阪市内の気温が高止まりし、需給見通しに狂いが生じた。結果的に他者からの電力融通はこの時間帯に行われた。「ソーラーの普及で、今までとはオペレーションが変わった」と東電幹部は話す。電気はためられず、蓄電池も普及が進まないため、昼間の供給に余裕があっても、夕方に太陽光発電が減るタイミングで需給を安定させる作業が必須だ。東電関係者がむしろ心配するのは日照時間の減る冬場だ。今年1、2月に気温が低下し、積雪で太陽光が機能しなかった際には電力需給が綱渡りとなり、ネガワット取引や電力融通を連日発動した。エネルギー環境の変化は電力大手に新たな対応を促している。

#### バイオ燃料

農産物や林産物など生物由来の有機性エネルギー資源。先進国に温暖化ガス削減を義務付けた京都議定書では、バイオマス（生物資源）を燃やしても二酸化炭素排出量には換算されないことが決まり、温暖化対策として注目されている。

植物原料を菌などで分解して糖にし、発酵させて得るエタノールなどの燃料。植物は光合成で二酸化炭素を吸収しているため、燃料にしても二酸化炭素を排出しないとみなされる。温暖化対策として世界的な需要拡大が見込まれ、国内でもガソリンに一定量を混ぜた燃料が販売されている。

ただ、サトウキビやトウモロコシなど食料になる植物を原料にすると、穀物相場の高騰や食糧不足を招く懸念がある。今後は廃棄される茎や稲わらなど非食料を原料にする動きが主流になる見通しで、繊維成分の高効率な分解技術が求められる。

#### **【藻類とは】**

光合成で酸素を発生させる生物で、水中に生息しているものの総称。コンブなどの海藻からミドリムシといった微細な生物まで様々。

二酸化炭素を吸収し、増殖もしやすいため温暖化対策への技術利用に関心が高まっている。

細胞内外に油分を含み、例えばシュードコリスチスという藻類は軽油に近い成分を持つとされる。日本のエネルギー自給率は原子力を除くと4%にとどまっており、石油などの代替燃料での実用化が期待される。

その他、家畜のえさや繊維などへの用途拡大も見込む。

### 【バイオ燃料の時間経過】

2010年5月22日日経「バイオ燃料 藻類から、10年後の実用化目標、農水省、トヨタ、中大などと共同研究、温暖化ガス排出減」

藻類で飛行機や自動車を動かす。農林水産省は企業や大学と連携し、湖沼などに生息する藻類を原料としたバイオマス（生物資源）燃料の開発に乗り出す。

月内にもトヨタ自動車や中央大学などに委託する共同研究に着手。2020年を目標にガソリンや軽油の代替燃料の実用化を目指す。

2011年2月11日日経「米トウモロコシ在庫、急減、エタノール需要が拡大、バイオ燃料使用促進、政策に批判の声」

2012.8.20日経「トウモロコシ、食料か燃料か。米干ばつで高騰、エタノール使用に批判」

日経 2015.8.8 バイオマス急増、木材足りず高騰、発電所4倍、丸太6年ぶり高値、製紙・住宅と原料争奪戦

2015.12.2日経 ミドリムシ燃料 20年実用化、ユーグレナ、航空機向け年125kl、精製コスト・安定供給課題

日経 2018.2.7 既設火力発電の二酸化炭素減、バイオマス新燃料続々、出光、木くずで3割代替、新日鉄住金系、農園の植物原料に

### 【太陽光発電の時間経過】

2014.10.16読売 太陽光偏重、混乱招く、発電量急増受入中断、地熱など普及妨げ懸念、再生エネ制度、見直し年末までに

経産省は15日、「固定価格買い取り制度」の見直しに向けた議論を開始。太陽光発電が増えすぎ、全国の電力会社で受入中断の動きが相次いでいるため。天気によって左右される太陽光などの発電量が想定を上回ると、周波数が乱れて家電製品が故障したり、停電につながったりする恐れがあるからだ。

「買い取り価格が高いときに国の認定を受けたメガソーラーは業者が4回も変わり、いまだに事業が進んでいない」と混乱の実態が。政府は、太陽光で作った電気の買い取り価格が決まる時期を、現在の【国の業者認定時】から「運転開始時」に改める方針。

読売 2015.2.25 太陽光偏重是正図る、価格引き下げ、地熱、風力据置き、大規模27円に、7月から、新年度案

読売 2015.3.10 太陽光900万kw超過

2015.5.19日経太陽電池、生産能力1割増へ、パナソニック独走、住宅用特化で利益確保

パナソニックは18日、2016年度までに太陽電池の生産能力を約1割増の年100万kw以上にすることなどを柱とする事業戦略を発表した。

読売 2015.9.25 太陽光、需給調整に限界、九電一時停止指示、不可避か、契約済み設備完成相次ぐ

2015.9.26読売 太陽光業者、選び直し、経産省案、悪質「未発電」を排除

経産省は 25 日、再生可能エネルギーの固定価格買い取り制度で、実際に発電する意思がある事業者を選び直す方針を固めた。国の認定を得たのに事業化せず、不当な利益を得ようとする事例が相次いだため、制度を抜本的に改める。

長期間、電力会社と契約をしていない場合は事業化の意思がないとして、認定を取り消す。国が買い取りを認定した太陽光発電設備は約 180 万件だが、約 70 万件は発電していない。発電せずに権利を転売したり、太陽光パネルが値下がりしてから発電して利益を得ようとする悪質業者を排除する狙いがある。

#### **2015.12.9 読売 太陽光ブーム一変**

太陽光王国を目指す佐賀県が全国で初めて、太陽光発電のために道路の占用許可をだし、無料で貸し出した。だが、工事を再開するかどうか判断できない。九電が買い取ってくれるかどうか読めなくなった。

政府の買い取り制度以降、土地が安く、日照量も多い九州で太陽光発電が急増。すると九電は昨年 9 月、突然、新規の買い取り契約を中断した。約 4 か月後には再開したが、新たな契約者には九電の要請があれば無制限に発電を停止するという条件が付けられた。

今年 6 月 4 日、九電管内で太陽光発電の出力が過去最高となった。正午～午後 1 時の平均出力が 407 万 kw、原発 4 基分に匹敵。この間の需要の 4 割を賄った。

しかし、出力は夕方から急落し、夜にはゼロになった。電力は需要に対し、供給量が多すぎたり少なすぎたりすると、電圧が乱れて停電を招く。九電が太陽光に慎重なのは「日中でも、天候が悪いと能力の 1 割程度しか発電できない」という不安定さ。九電は出力を予測しながら火力発電などの運転を加減し、需給調整をしているが、調整にも限界がある。

**読売 2018.1.26 再生エネ、日本は周回遅れ、劇的なコスト減、世界の発電牽引、世界の再生エネ発電量は拡大する**

**日経 2018.2.28 産油国、太陽光にカジ、国内電力、相次ぎ大型投資、脱石油へ改革、市場育つか**

**日経 2018.3.15 薄く低価格、新太陽電池、壁や曲面、設置場所選ばず、パナソニック、シート状つなぎ大面積、積水化学、膜で覆い耐久性高める**

#### **【地熱発電の時間経過】**

**2011.10.6 日経「地熱発電、国内で事業化、買い取り制で採算、丸紅が発電所、国際帝石、JFE系も検討」**

丸紅は国内で地熱発電事業に参入する。2013 年度をめどに東北や北海道に自前の発電所を建設する。

**2012.3.22 読売「地熱発電、国立公園で垂直掘り、環境省、条件付き認可へ」**

環境省は、国立・国定公園の規制地域での地熱発電の開発について、地元の温泉組合との合意などを条件に認める方針を固めた。

**2012.3.23 日経「福島で大型地熱発電、出光など規制緩和、国立公園に、27 万キロワット、**

## 原発 1/4 基分」

出光興産、国際石油開発帝石、三菱マテリアルなどは福島県内で地熱発電所を建設する方針を固めた。

## 2012.9.6 日経「国定公園初の地熱発電、秋田に建設、最大 7 万 kw」

国立・国定公園の中で地熱発電所の建設を認める第 1 弾が秋田県湯沢市の「栗駒国定公園」に固まった。

## 2012.10.9 日経「再生エネ、真の実力、地熱、20 年に発電量倍増、技術・制度なお課題」

新潟県十日町市、松之山温泉で地熱発電の一種「バイナリー発電」の実証実験。

読売 2017.3.2 地熱発電、出光が稼働、大分で子会社、バイナリー式国内最大級、九州に潜在力、課題も

出光興産の 100%子会社「出光大分地熱」は 1 日、大分県九重町の地熱発電「滝上バイナリー発電所」の商業運転を開始した。同社によると、出力は 5050kw で、バイナリー方式の発電所としては国内最大級。一般家庭約 1500 世帯分を賅える。

## 2015.8.29 読売 地熱発電所、計画相次ぐ、大分など 90 か所、政府も支援強化

全国で地熱発電所の建設計画が相次いでいる。電源開発や三菱マテリアルなどは 5 月、秋田県湯沢市で地熱発電所の建設を始めた。出力は 4 万 2000kw。大分県九重町でも 6 月、運転を始めた。

日経 2018.1.22 地熱発電、再び湧くか、「眠れる宝」利用率なお 2%、開発短縮/調査地点倍に

日経 2018.2.28 地熱発電 普及へ一歩、眠れる資源開発効率向上、地球科学総研（蒸気探査の新技术）、三菱マテ（ドリル強化でコスト減）

## 【風力発電の時間経過】

## 2011.12.12 日経「洋上風力発電に参入、コスモ石油、初の大規模商用施設、岩手沖などに 20 年代初頭」

コスモ石油は洋上風力発電事業に参入する。2020 年代初頭にも東北沖など日本近海で 10 基以上の風車で構成する発電プラントの稼働を目指す。

## 2012.7.5 日経「英、洋上風力に 13 兆円、発電能力原発 30 基分、風車 7000 基、雇用創出狙う、三菱重工業など参入動く」

英国が官民挙げて世界最大の洋上風力発電事業に乗り出している。13 兆円を投じて 7000 基以上の風車を沖合に設置し、3200 万 kw の電力を発電する。

## 2012.9.4 日経「洋上風力発電に 1200 億円、30 万 kw、国内最大級、東芝など 6 社」

日立造船、東芝、JFEスチール、住友電気工業、東亜建設工業、東洋建設は、15 年に実証試験用発電所を建設するのを皮切りに、10 年間に 1200 億円を投じ、30 万 kw 分の開発を目指す。

## 2012.10.2 日経「再生エネ、真の実力、洋上風力、30 年までに原発 8 基分」

環境省は、2030年までに洋上風力発電、地熱、バイオマス、波力など海洋エネルギーの総発電量を計1941万kwと10年度の約6倍、全電源の10%にする目標を掲げる。

#### **2016.2.19 日経 風力増強、原発10基分に、能力3倍、脱・太陽光偏重へ、ユーラス、Jパワー投資**

日本の風力発電の導入が加速する。両社はそれぞれ2020年までに600億円規模の投資に踏み切る。

日経2017.2.22 風力、ネックは送電網、経産省、買い取り価格引き下げ、事業者の開発意欲に水

風力発電に逆風が強まっている。再生可能エネルギーの固定価格買い取り制度（FIT）開始から建設計画が相次ぐが、風が強い建設適地の東北地方で送電線不足の問題が浮上する。2016年12月には買い取り価格が17年度から下がる案が決まった

#### **日経2017.3.7 風力発電、買い取り4倍、今後10年で、北海道電、普及に弾み**

北海道電力は風力発電の電気の買い取りを今後10年ほどで4倍に増やす。風力事業者と北電が電気をためる蓄電池を共同で設置し、風の吹き方による稼働率の変動をならせるようにする。

#### **日経2017.3.17 再生エネ送電参入、風力最大手ユーラス、普及後押し**

風力発電の導入拡大に向けて、専用の送電線の建設が北海道で始まる。豊田通商系の国内風力開発最大手、ユーラスエナジーホールディングスなどは2019年4月から、北部に総延長100kmの送電線を建設する。

#### **日経2018.1.7 風力発電、送電費用が壁、事業者負担独の3倍、電力改革の遅れ響く**

日経2018.2.10 欧州風力発電機メーカー、風吹けどもうからず、価格急落・中国の影、再編も

### **【水力発電の時間経過】**

#### **2012.6.22 読売「列島再生、日本の島弧型エネルギーの資源量」**

急流が多い島弧に適しているとされる水力発電。未開発分も含めた合計（包蔵水力）としては最大出力で約4600万kw（経産省調べ）がある。発電量ベースで7割が開発済み。震災後は小口の発電が地域活用など模索。

#### **2012.10.6 日経「小水力発電、設置を促進、用水路、許可不要に、国交省が規制緩和」**

農業用水路に発電所を作る場合、登録だけで済むようにする。環境省の推計によると、中小水力発電の潜在能力は約1400万kwで、原発14基分の出力にあたる。

## **5. 蓄電池、リチウムイオン電池の現状と将来？**

ポイントは再エネの蓄電用の用途が重要になっていることを読み取ることで。

### **【蓄電池とは】**

電気エネルギーを蓄え、必要な時に取り出せる電池。アルカリ乾電池などとは違い、充電すれば繰り返し使える。

自動車バッテリー用の鉛電池が有名。携帯電話やノート型パソコンの普及に伴い、1990年代、有害物質のカドミウムを使わないニッケル水素電池が量産化された。

さらに、軽量で、放電ロスの少ないリチウムイオン電池が登場、電気自動車などに使われている。

#### 【全固体電池】

主要部品の電解質など全てを固体の材料で作る。大容量で急速充電に向く。液体を使わないため安全性が高い。リチウムイオン電池は燃えやすい有機溶媒などを使い、衝撃で破損して液漏れを起こしたり、引火したりするリスクがあった。高温・低温の環境下で使えるため、航空・宇宙分野での利用を期待される。最適の電解質の材料探しや量産技術の開発が課題となっている。

#### 【ナトリウムイオン電池】

安価で埋蔵量が豊富なナトリウムを電子のやり取り使う。電解質を液体ではなく固体にした「全固体電池」などとともに次世代電池の有力候補とされる。安全性が高い全固体電池は電気自動車用に向き、ナトリウムイオン電池は電力貯蔵向けの用途が有望視される。基本的な構造はリチウムイオン電池とほぼ同じだが、ナトリウムイオンは動きやすいため、出力を高めやすいとされる。リチウムイオン電池の既存設備を転用できる。ナトリウムイオンはリチウムイオンに比べて大きく、専用の電極材料が必要になる。現在、国内外の研究機関や企業で材料の探索が続けられている。

#### 【空気電池】

空気電池は次世代技術の有力候補のひとつで、空気中の酸素を取り込んで化学反応することで電気を生み出す。酸素は無尽蔵に供給されるため、理論上は電気を蓄えられる量がリチウムイオン電池の5～10倍に達する。プラスとマイナスのうちのプラス側の電極が金属から酸素に代わるため、格段に軽くなり、材料コストも抑えられる。現状ではすぐに性能が低下してしまい、実用蛇への大きな課題となっている。

最近の話題を下記に掲載する。

#### 2019..3.18 日経 次世代「空気電池」実用化前倒し、富士通系など寿命伸ばす技術、軽さ生かす用途に

究極の蓄電池といわれる「空気電池」の最大の課題である寿命を大幅に向上させる技術が相次いで開発された。富士通系電子部品メーカーのFDKは水素を使う特殊なタイプで3年後の実用化にメドをつけた。NTTは本命候補のリチウムを使うタイプで長寿命の電池を試作した。あらゆるモノがネットにつながるIoTの時代では、高性能電池の必要性が高まる。実用化時期が大幅に前倒しされて2020年代になる可能性が高く、開発競争が進みそうだ。

軽さという特長を生かし、空飛ぶ自動車や動き回るロボット、健康状態を把握するセンサーなどへの搭載も視野に入れる。様々な機器がデータを集める必要性が高まり、空気電池のような軽くて高性能な電池の需要が高まりそうだ。太陽光など再エネで余った電力を

貯蔵するシステムが普及すれば、二酸化炭素の大幅な排出量削減が見込まれる。リチウムイオン電池の登場でモバイル機器が普及し、IT 革命を支えに、性能は向上し、自動車の電動化でも重要部品だ。しかし、技術的な限界が近づいており、燃えやすいという欠点もある。空気電池は次世代技術の有力候補の一つで、空気中の酸素を取り込んで化学反応することで電気を生み出す。

FDF が開発した空気電池は水素を酸素と化学反応させて電気を作る。ハイブリット車などに使用されているニッケル水素電池の構造を活かし、ニッケルを使う正極を酸素に置き換えた。貴金属のルテニウムを主成分とする微粒子を付け、反応を進みやすくした。充電と放電を 500 回繰り返しても、性能の低下は 1 割以下だった。再エネの電力貯蔵向けなら 10 年ほど使えるとみる。「性能はいまよりも 2~3 倍向上している」。NTT は負極にリチウムを使うリチウム空気電池で、充電や放電を 1000 回繰り返しても性能が落ちない。マンガンを中心とする化合物を混ぜたのがポイントで、充電や放電に必要な化学反応を進める働きがある。従来は数回で劣化していた。

物質・材料研究機構はソフトバンクとリチウム空気電池の共同研究を進めている。25 年の実用化を目指す。カーボンナノチューブやグラフェンといったナノ炭素材料などを使い、容量をリチウムイオン電池の 15 倍に高め、100 回以上の充放電でも劣化しないことを確かめている。「容量は 10 倍以上、コストは 10 分の 1 以下が目標」。モバイル機器やドローン向けの用途を見込む。トヨタ自動車は全固体電池を搭載した EV の実用化を急ぐ一方で、空気電池の研究開発にも取り組んでいる。他の候補も含めてそれぞれの強みを生かした分野で普及することになりそうだ。

### **2019.1.30 日経 中国車載電池、淘汰の波、20 年、政府の補助金打ち切り、日韓勢と真っ向勝負**

世界最大である中国の電気自動車用の電池市場で「2020 年問題」が浮上している。EV 業界の支援を続けてきた中国政府が 20 年に補助金を打ち切り、中国の多くの電池企業が淘汰される見通しだからだ。生き残るのは CATL や BYD など一部の大手企業のみともされる。中国景気に陰りが見える中、政府が推進してきた EV シフトにも暗雲が垂れ込める。

「中国の最近の (EV 関連の) 政策は、技術力の低い企業を淘汰させる方向へ切り替わった。(20 年の) 補助金制度が終わる前に、我々もさらに競争力を高めなければならない」。車載用電池で世界シェア 3 位の中国電池大手の BYD。同社の経営幹部は今、危機感を強め、こう打ち明ける。中国政府が国策として EV に搭載する基幹部品の車載用電池の育成強化に力を入れ始めたのは、12 年ごろのこと。業界に 1 兆円を超える補助金を投入し、中国には数百社の電池メーカーが誕生した。一方、外資が補助金の恩恵を受けることはほぼなかった。補助金は巨額で、例えば中国の EV メーカーには EV1 台を生産・販売するごとに 100 万円以上の補助金を支給し、電池各社には工場建設費用の多くを政府が負担した。その恩恵の先頭に立ったのが BYD だ。だが、そんな注号大手の BYD できえ、20 年以降の「補助金なし」に身構える。補助金を除く実力評価では、まだパナソニックや韓国勢に地力で劣

るとみられるからだ。実際に、中国政府がEV業界に多額の補助金を支給し始めた15年12月期。同社の同期の純利益は6.5倍にも膨らんだ。16年12月期も約8割増と急増した。しかし、中国政府が補助金を減額し始めると、同社の17年12月期の純利益は2割減と急減した。18年に政府がさらに補助金を3割減らすと、BYDの18年12月期の純利益は2〜3割減と大きく減る見込みとなり、もろさを露呈している。他社でも補助金減額の余波が広がる。18年7月にはオプテマムナエナジーが生産中止に陥った。同社は中国市場で17年に3位の大手だが、政府補助金の減額で経営が立ちいかなくなった。18年1〜10月期の車載用電池メーカー出荷ランキングでは10社のうち7社が中国企業で占める。だが「中国政府の後ろ盾なしにはその地位はあり得ない」（日系電池メーカー）のが実態で、ランキングからは中国企業の実態はまだ見てとれない。だが、補助金減額の嵐はやむことなく、中国各社には2020年問題が今後待ち構える。政府は既に補助金を20年以降ゼロとする方針を掲げており、淘汰は必至だ。中国政府は29日、消費刺激策の一環でEVへの補助金を拡大する方針を示したが、対象は一部車種に限られ、従来の補助金削減の方針は変わっていない。中国の電池メーカーは今後も厳しい現実さらされる。中国調査会社のGGIIによると中国の車載電池メーカーは17年の135社から18年には90社に減った。中国の自動車市場に詳しいみずほ銀行国際営業部の湯進も「最終的に生き残る中国メーカーは20社程度だろう」と指摘する。「台風で舞い上がる豚は本当に飛べるのか」BYDと並ぶCATLの会長は最近、社員にこんなメッセージを投げかける。台風とは補助金などの政府支援を指し、豚とは技術力の低い中国の電池メーカーを指す。大手の同社ですら、補助金頼みの成長から何とか脱しようと今、必死でもがく。理由は補助金の打ち切りだけではない。20年以降に補助金が無くなれば、中国企業は政府支援を失い、真正面からパナソニックやLG化学といった有力外資に向き合わざるを得なくなる。そのときに、本当に勝てる企業になっていくのか。2020年は刻々と迫っている。

電気自動車の育成に向け、中国の電池政策は毎年のように細かく見直されてきた。それは業界関係者でも熟知するのが難しいものも少なくなかった。補助金に支給額も変更が多く、受給条件も複雑。政策に一貫性がないとの指摘も多かった。それが「中国の産業育成に障害となっている」という見方もあるほどだ。

今年から始まったEV関連の新政策も同様だ。中国で工場を構えるガソリン車メーカーに一定のEVの製造と販売を義務付ける「NEV規制」だが、早くも混乱している。既に規制がスタートしているが、未だに詳細が詰まらず、まだ当社に必要なEVの製造台数などが正確にわからないまま」（日経自動車メーカー）と話す。各社は手探りEVの生産計画を立てざる負えない状況になっている。要は中国政府はいつも、何が最適な解なのかに迷い、場当たり的な政策変更も少なくない。だが、それは多くの混乱を招くことを知る必要がある。これまで太陽電池や液晶パネル、発光ダイオードなどの産業を国策として育成してきた。目玉は補助金、しかしいずれも企業の乱立を招き、過剰な生産能力が需給バランスを崩し、価格の下落など世界の相場に影響を与えてきた。

## 2018.12.24 日経 充電 1 回、東京—大阪走破へ、リチウムイオン電池が進化、500 キロ目前

1 回の充電で東京—大阪間に相当する 500 km を走れるリチウムイオン電池技術の開発が活発だ。積水化学工業の技術は突破のメドが立ち、旭化成も近づいた。いずれも既存の電池を使うことができ、2020 年代前半に実用化する見込みだ。経産省は電池の性能をフルに使い切る技術開発を支援する。世界で EV 化の流れが加速しており、課題だった走行距離が大幅に伸びれば、リチウムイオン電池が主役の時代はまだまだ続きそうだ。

フル充電で 500 km 走行できれば、ガソリン車の性能に匹敵する。経産省などは普及の条件の一つとみており、2030 年の達成を目標に掲げる。EV が急速に普及する中国では走行距離が 150 km に満たない車種への補助金を打ち切り、長い車種を増額した。リチウムイオン電池は 1991 年に商品化、ノートパソコンやビデオカメラなどに使われた。2009 年に量産化 EV に採用され、フル充電で走行できる距離は 200 km ほどだった。10 年代初め、当時の技術で 500 km 走行の達成は難しく、30 年ごろに全固体電池などの次世代電池に切り替わるとみられていた。次世代電池の開発は世界で活発だが、まだ技術的な課題は多い。一方、リチウムイオン電池の技術開発が進み、500 km 突破が現実味を帯びてきた。研究者は「さらに 10 年ぐらいはリチウムイオン電池を使い続ける」と予想する。リチウムイオン電池は＋と－の電極間をリチウムイオンが行き来することで、電気を発したり充電したりする。容量を増やすには、電極に蓄えるイオンを増やしたり、内部の電気抵抗を減らして電子を通りやすくしたりする必要がある。積水化学が開発したのは、正極に使う技術で、混ぜる炭素材料の構造を工夫して電気を流れやすくした。正極の中で電子が通り抜ける道を広げ、従来の 10 倍ほど電子が進みやすくなる。発生した電流を多く取り出せるほか、電極が壊れにくくなって耐久性が向上した。正極を分厚くしてリチウムイオンをより多く取り込めるようになる。実験では電池の容量が 3 割ほど向上した。走行距離を現在の 400 km から 500 km を超す水準に伸ばせる。21 年に部材として販売する計画。旭化成は負極に酸化ケイ素を混ぜることで容量を 2 割ほど増やした。炭素系材料を使う負極にケイ素系の物質を混ぜると、リチウムイオンをためやすくなり、容量を増やせる。しかし、一部のイオンを捉えたまま放出しなくなる問題があった。負極にあらかじめイオンを注入して捉える部分を働かないようにすることで、リチウムイオンの取り込みと放出がスムーズに進むようにした。数年後の実用化を目指す。

従来にない電極材料を使う研究も進む。横浜国大の藪内教授はパナソニックと共同で、フッ素を混ぜ合わせた正極を開発した。電極内での電子のやり取りに金属だけでなく酸素も使うようになり、容量が 2 倍になった。住友化学はアルミニウムを使う負極の開発を進め、容量を 2.5 倍に高める目標に掲げる。経産省は 19 年度科 r、リチウムイオン電池を無駄なく使いきることを可能にする技術開発を進める。発火事故を防ぐため、電池は上限よりも小さい容量で使っている。残量を正確に測定できるセンサーの開発に助成し、使用可能容量を増やす。来年度予算に 2 億 5 千万円を計上し、25 年までの実用化を目指す。日本は

リチウムイオン電池で世界を席巻したが、11年以降は特許出願が減っている。中国は大学や企業などからの出願が増え、15年には日本と中国が全体の三分の1ずつを占める状況になった。走行距離を伸ばすため、電池の容量を大幅に増やす技術開発が進んでおり、中国からの出願はさらに増える見込みだ。

### 2018.12.3 日経 太陽蓄電池、家庭用に的、売電優遇世界で廃止・期限切れ

家庭用蓄電池のビジネスチャンスを探る動きが広がっている。伊藤忠商事は米国で蓄電池を提供する企業に出資。欧州では蓄電池を使い家庭間で電力を融通するサービスが始まった。背景にあるのは世界中で太陽光発電の優遇策が期限切れや廃止となることで、余った電力を高値で売れなくなった個人が、蓄電池のために自宅向けに回すため、需要が拡大すると見られている。

日米欧には家庭向け太陽光発電を促す優遇策があり、余剰電力を電力会社に高値で買い取ってもらうことができた。それが精度の期限切れや廃止が相次ぎ売却する個人の動機づけが薄れ、発電され続ける電力の有効な処理法を探る中で蓄電池が注目されている。伊藤忠は10月末、蓄電池ビジネスの拡大を目指して、米エネルギー企業のサンノーバに500万ドルを出資した。サンノーバは家庭に太陽光パネルを無償で設置する事業を手掛ける。設置先の家庭に割安な価格で電気を売る。余剰分は電力会社に売却している。伊藤忠は今後、蓄電池や管理システムをサンノーバに納入し、優遇策が廃止された州の家庭中心に蓄電池を置いてもらう。高値買い取りが終わるので、蓄電池で電力をため家庭に販売する。米国では電力会社が家庭から余剰電力を買い取り、電気代と相殺する制度を州ごとに導入する。ただ、昼間しか発電しない太陽光が増えすぎ、電力需給のバランスをとるのが難しくなったため、カリフォルニア州やハワイ州で優遇策の廃止や見直しが相次いでいる。家庭用の太陽光発電は、ドイツが2000年に再生可能エネルギーを高く買い取る制度（FIT）を整備したことをきっかけに広がった。日本も09年にFITの前身となる制度を導入し、買い取り期間が10年間の日本では19年から、20年間のドイツでは20年からFITを利用できず有利な条件で電力を買い取ってもらえない家庭が出始める。国内ではシャープが販売店と組み、自社の太陽光パネルを設置した家庭向けに、今後についての説明をこれまで約1千回開いた。蓄電池を使い、昼間にためた電力を夜間に使う効果などを訴え、今年度の販売台数を1万5千台と前年度の2倍に引きあえる。蓄電池スタートアップのエリーパワーも倍増の2万台、パナソニックは6割増の販売台数を目指す。富士経済は家庭用の蓄電池の世界市場は25年に17年の約3倍の1823億円になるとしている。一方、先行するのは欧州。蓄電池にたまった余剰電力を融通し合う「電力シェアリング」というサービスが広がっている。蓄電池大手の独ソンネンのサービスは一定の金額を払って会員になると、送電線で他の家庭の蓄電池に溜まった余剰電力を安価に購入できる。電力を売り家庭は、電力会社を通さない分、高く販売できるという。ドイツのほか、オーストリアやスイスに広がっている。

太陽光の余剰電力をためる需要が本格化すれば、家庭内蓄電池の普及が一気に進むかの

可能性がある。普及の最大のネックだった価格も下落傾向にあり、よりコストをさてる技術開発も進んでいる。北海道の地震などで非常用電源としても注目されているが、もう一段の価格引き下げが市場形成の鍵を握りそうだ。リチウムイオン電池を使う蓄電池が出始めた2010年、価格は容量2.5kW時で約200万円だった。技術開発や部材価格の下落で現在は約100万円にまで下がったが、それでも価格が足かせと見られている。こもためコスト圧縮技術はさらに進化している。日揮は太陽光由来の電力を直流電流のまま蓄電池にためる技術を開発した。交流と直流を切り替える変換装置を不要にし蓄電池の製造コストを2~3割圧縮した。19年秋にも国内で販売する。非常用電源としての引き合いが急増している」。との声もあるが、費用対効果の検証は避けて通れない。

### **2018.11.22 日経 次世代電池、家庭で先行、TDKが指先サイズ、「全固体型」韓国勢と競争**

次世代電池の本命と期待される「全固体電池」が、暮らしや産業に浸透する可能性が出てきた。電子部品大手のTDKが指先に乗るサイズの小型品の実用化にめどをつけた。EVに利用できるとして注目されてきた全固体電が、家庭分野などで先行する見通しだ。韓国、中国勢と激しくなる電池分野の競争で、日本勢は巻き返しを目指す。

全固体電池は現在の電池の代表であるリチウムイオン電池と同じ2次電池。エネルギーの容量が数倍大きくなり、安全性も高まる。TDKは数ミリ核のチップタイプを開発済みで、1千回の充電が可能。サンプル出荷をすでに開始、量産体制を整えている最中だ。本格的な実用化では世界で見て先駆けとなる。TDKはまず、小型製品を家庭やオフィス、工場でのエアコンや照明などで利用することを提案する。例えば、工場でのエアコンの温度を調節するために、工場内の温度を測るセンサーに埋め込む。センサーのボタン型アルカリ電位の代わりに使う構想だ。次世代電池は様々な種類が開発されている。その中でも全固体電池は実用化が近いと見込まれている。従来はEV用リチウムイオン電池を代替できると期待されてきた。トヨタ自動車は2020年代前半に実用化を狙っている。航続距離を延ばすことができ、充電時間は短くなる。ドイツのフォルクスワーゲンも25年ごろまでに量産体制を整える計画だ。ただ、いずれもまだ出荷の段階に至っていない。TDKのような小型品が発売されれば、全固体電池の応用範囲はEVにとどまらず、社会に広く浸透する可能性が高まる。大容量化などに課題はあるものの、将来はパソコン、スマホなど幅広い家電で活用されるとみられている。このため、各社が開発を競っている。太陽誘電は、20年頃に数センチ角の製品の実用化を目指しており、多機能のスマートウォッチなどでの利用を見込んでいる。村田製作所は厚み50マイクロメートルの極薄製品を開発中で、コンタクトレンズなどウェアラブル分野の需要に期待する。さらに、航空・宇宙分野での活用を狙うのが日立造船だ。まず19年をめおどに同分野での採用を促し、技術を確立して20年代後半にEVに参入する計画を持つ。

固体電池を巡る開発競争はグローバルに広がっている。韓国のサムスンSDIやLG化学がEV用などの開発を進めている。世界のスタートアップ企業も参入した。日本企業は産業

用の素材や加工の技術など、ものづくりに幅広いノウハウを蓄積してきた。電池も、開発の先頭を走ることができる潜在的な実力がある。リチウムイオン電池との場合、世界で初めて商品化したのはソニーだった。ただ、製造技術が広がるにつれ、韓国や中国メーカーに市場シェアを奪われた。EV用では、中国のCATLが17年、パナソニックの出荷を上回り、世界首位に立ったとされる。全固体電池による電池市場の世代交代は、日本勢が巻き返すチャンスとなる。

これまでの電池は家電や産業用設備をより小さく、長寿命にする上での制約条件となってきた。新たに全固体電池が普及すれば、消費者の暮らしに加え、様々なビジネスの競争の構図を変える。1次電池として古くから使われるマンガン乾電池は、1800年代後半の欧州で花開いた技術だ。1900年代後半になると、開発の中心がアルカリ乾電池へと移る。今でも家庭の中で、時計や体重計などあらゆる家電に埋め込まれている。時代を追うごとに小型化・高性能化が進んでいく。消費者向け製品の開発を一段と促すきっかけとなったのがリチウムイオン電池との登場だった。出力が大きいというえ、充電できる回数が大幅に増加。スマホの長時間利用や軽量化に貢献、ビジネスや働き方を変えた。

#### **2018.10.11 日経 家庭で蓄電、地域で共有、東電や日産、再生エネ普及促す、電池コストに課題**

再生可能エネルギーの普及へ向け、家庭やEVの蓄電池をつないで共有する動きが広がる。電力会社や自動車大手、蓄電池メーカーなどが、小さな蓄電池を取りまとめ1つの大容量蓄電池のように使う技術の実用化を進める。太陽電池で発電した電気を無駄なく使えるほか、災害時に非常用電源として機能する。電池のコスト削減など課題もあるが、再エネの利用拡大につながる。

点在する小さな蓄電池をつなぐシステムは「仮想発電所」と呼ばれる。経産省は20年度以降、1万5千世帯の電力を賄える5万キロワット規模の導入を目指す。東京電力HDや関西電力、住宅用蓄電池大手のエリーパワーなどは、家庭やオフィスなどの蓄電池をつなぎ、ネット経由で一括制御する技術の開発を進める。

電力は需要と供給を瞬時に一致させないと、北海道地震で発生したような停電を招く。東電などは複数の蓄電池から取り出す電気の量を微調整しながら素早く制御できるようにする。まず計500台の蓄電池を制御する技術を確立し、21年度までの実用化を目指す。太陽光で発電する昼間に充電し夜間に蓄電した電気を使う。災害時には非常用電源になる。家庭は蓄電池の電気を使うことで電力会社に支払う電気料金を抑えられる可能性がある。将来は需給調整に協力した消費者に協力金を支払うことを目指しており、蓄電池の普及を後押しする。日産自動車や東北電力、三井物産は今月、EVを活用した電力を需給調整する実証事業を仙台市で始めた。日産のEV「リーフ」を専用の充放電スタンドにつなぎ、地域の電力需要に応じて充電したり放電したりする。EVは車載リチウムイオン電池を使い家庭などを動かす蓄電池としての役割が期待できる。ホンダもEVにためた電気を家庭用に供給したり、太陽光などの直流電源を家庭用の交流に変換したりする充電器を開発す多。政府

は 16 年度に約 15%だった再生エネの比率を 30 年度に 22~24%に高める目標を掲げる。太陽光や風力は天候で発電量が変動するため、需給バランスの安定が普及への課題だ。VPP の実用化で蓄電量が増せば、再生エネを一旦貯めるなど需給調整が容易になり、普及を後押しする。太陽光発電が集積する九州では供給量が需要を上回り、発電事業者に稼働停止を求める「出力制御」が現実味を帯びている。VPP が広まれば、せっかく発電した電力を無駄にする事態を防げる。課題は 1 台 200 万円前後する蓄電池のコスト。消費者が十数年で投資を回収できるようなインセンティブの導入など、普及を通じ生産コストを低減するような仕組みが必要になる。欧州ではドイツが数千カ所の電源を束ねる事業者が利益を出すなどすでに VPP が実用段階にある。日本でも再生エネの地産地消を目指す動きが広がりそうだ。

#### **2018.8.16 日経太陽電池もテスラが翻弄、パナソニック、独占供給やめ外販へ、生産計画 EV 注力で停滞、販路拡大、立て直し**

パナソニックが米テスラとの協力関係を見直す。電気自動車向け電池と太陽電池の 2 事業で組んできたが、テスラが EV の量産で四苦八苦し、立て直しに注力するあまり、共同で設立した米国の太陽電池工場での作業が停滞、太陽電池の部材を独占供給する契約を切り替え、米国内の他者への提供を決めた。テスラの EV を巡る誤算の影響が広がってきた。両社は 2017 年 10 月、資金を出し合ってニューヨーク州に太陽電池生産のバッファロー工場を稼働させた。EV 用電池でも提携関係にあり、10 年にはパナソニックがテスラに 3000 万ドルを出資。14 年にはネバダ州に大規模電池工場を建設することで合意した。パナソニックは同工場に約 2000 億円を投じる計画で、追加投資も検討している。

今回問題になったのはバッファロー工場で生産する太陽電池。パナソニックは今秋にもテスラ以外への供給を始める。両社はこのほど独占供給契約を見直した。同工場でパナソニックは薄いシリコンに回路を作り発電能力を持たせる「セル」と呼ぶ中核部材を生産している。テスラはそのセルを独占的に引き受け、複数枚組み合わせる屋根と一体化した意匠性の高い太陽光パネル「ソーラールーフ」を組み立てるとというのが当初の計画だった。だが、蜜月時代は短かった。原因はテスラの EV 事業のつまずき。テスラは量産が遅れている新型 EV「モデル 3」に人材や資金を集中。ソーラールーフの生産に手が回らず、パナソニックのセル生産も停滞していた。同社は 19 年までにバッファローへ 300 億円強を投じて生産能力を高める予定だったが、その計画も大幅に遅れるとみられる。一方、米国が太陽電池へのセーフガード（緊急輸入制限）を設けた追い風も受け、米国内で生産するパナソニックのセルへの引き合いは強い「多くのパネルメーカーがうちのセルに関心を示している」（パナソニック幹部）といい、テスラ以外の米メーカーへのセルの供給に踏み切ることを決断した。パナソニック幹部は「テスラからの要求があればセル供給や投資を戻せるように準備はしている」と語るが、先行きは見えない。パナソニックがテスラへの独占供給を見直す背景には、国内事業の厳しさがある。再生エネルギーの買い取り価格引き下げによる国内市場の縮小で同社の大用電池事業は赤字が続く。テスラとの協業で当初は 18 年度

の太陽光事業の黒字化を目指していたが、19年度以降にずれ込むのが確実な情勢だ。早期の黒字化のためには「脱・テスラ依存」は避けて通れない。パナソニックは17年度末にパネル生産の滋賀工場を閉鎖した。従来は自社で材料から最終製品のパネルまで一貫で生産していたが、同社工場の閉鎖に伴いこの方針を転換。島根県やマレーシアにある工場生産するセルを海外パネルメーカーに供給することを決めた。セルは東南アジアのメーカーを中心に5社前後への供給が決まっている。今秋にも供給を開始する。パナソニックの推定で太陽電池の20年度の世界市場は17年度2割強増の125ギガワットに拡大する見通し。だが、テスラは6月には太陽光発電システムの販売で提携関係にあった米ホームセンター大手、ホーム・デポとの契約を更新しない方針も示した。家庭向け製品についてはテスラの店舗とオンライン販売に絞った。太陽電池に限らず、EV用電池での協業でも不透明さがある。テスラは中国にEVの開発・生産拠点を建設する計画を進めている。上海市に検討する新工場では電池と所領を一貫生産する方針だ。パナソニックは「上海での電池生産も検討したい」とするが、テスラの財務状況を冷静に見極める構えだ。急速に力をつける車載電池のライバルCATLなどが両社の関係に影を落とす可能性も否定できない。イーロン・マスク氏の

シナリオの崩れが多方面に波及する中、同氏やテスラを成長の原動力として織り込んでいたパナソニックの計算にも狂いが生じつつある。EV向け電池での協業関係も安泰と言い切れず、パナソニックや関連企業は固唾をのんで見守っている。

#### **2018年7月25日日経「技術ウォッチ 空気電気、リチウムしのご容量 トヨタ、電気自動車の本命に」**

トヨタ自動車がリチウムイオン電池の性能を上回る次世代電池の開発に乗り出した。六月に専門の電池研究部を立ち上げ、「空気電池」と呼ばれる新しい電池の実現に挑む。

#### **2018.5.30日経 再エネ拡大、蓄電力カギに、JERA、米豪2社と提携、需給調整、効果試す**

東電ホールディングスと中部電力の共同出資会社JERAは29日、米蓄電システム会社など2社とアジア太平洋の蓄電池事業で提携したと正式に発表した。太陽光発電のエネルギーを蓄えるノウハウの獲得が狙い。蓄電による再生可能エネルギーの効率利用は世界の課題で日本も発展段階にあり、同社は国内への技術移転を目指す。

JERAは提携を通し、オーストラリアで2019年末までに3か所の太陽光発電所を開く。いずれにも蓄電池を併設し、うち1つは出力10万キロワットと世界最大級のリチウムイオン電池となる。独シーメンスが出資する提携宛ての米フルーエンスは蓄電池と太陽光パネルをつなぐシステムに強い。JERAの狙いは、発電の状態が天候で左右される太陽光発電について、蓄電池を組み合わせることで効率的に供給する複合運送のノウハウだ。日本では国の再生可能エネルギー固定買取制度の下、太陽光発電の価格が下降し、事業のうまみは減った。だが、太陽光発電の累計パネル出荷量は増えている。政府は再生可能エネルギーの電源構成比を16年の15%程度から30年度に22~24%に高める方針だ。再生可能エネルギーの普

及には蓄電池がカギになると期待され始めているが、取り組みは始まったばかりだ。国内のある電力大手関係者は、九州電力が豊前発電所に16年に設置した出力5万kwの蓄電池について「役に立っているが、まだ足りないようだ」と話す。九州では土地代が安いこともあり太陽光発電が進んでいる。日中に電気を貯めて夜間に流すナトリウム硫黄電池を設けたが、増える太陽光エネルギーを受け入れていくにはもっと大規模な運営ノウハウが必要である。JERAの関係者は「今回の提携は日本の電力のしわ取りにきっと生かせる」と話す。しわ取りとは業界の専門用語。太陽光は天候で発電量が変わるため、電力供給量をグラフにすると「しわ」のように見える。そこで蓄電池を活用し、安定供給でしわをなくす。日本では蓄電技術が十分でないため、九電の場合、需給バランスが危ういと見込まれた場合には太陽光の発電事業者に送電をいったん止めてもらう出力抑制の準備まで進めている。発電送料の3割以上が再生可能エネルギーが占めるドイツでは、配電事業者の多くが大規模な蓄電池を組み込んだシステムを活用している。ある配電事業者は「容量がそれほど大きくなくても、蓄電池は瞬発力がある」と語っている。蓄電池を使えばその分コストがかかる。パナソニックや韓国サムスン、KG化学が強みを持つ高性能のリチウムイオン電池はコストが高いと言われている。それでも蓄電池の価格は年10~15%下がっている。15年に1キロワット時当たり5000~10000ドルの単価が、20年には最も安くて2000~3000ドルに下がるとの見方がある。大規模なパネルによって売電量を増やして、蓄電池のコストを吸収できるようになれば再生可能エネルギー普及のカギとなりうる。

#### **2018.5.29 蓄電池、豪で世界最大級、東電・中部電参画、再生エネ普及視野**

容量が世界最大級の蓄電池を使い太陽光を有効利用する発電事業がオーストラリアで動き出す。独シーメンス系などの計画に東電ホールディングスと中部電力の共同出資会社、JERAも参画。1200億円を投じ家庭10万世帯分の電力をまかなえる容量55万キロワット分の太陽光発電所を造る。ノウハウは再生可能エネルギーの導入拡大を目指す日本でも活用できそうだ。シーメンス系で蓄電池関連技術を持つ米フルーエンス、豪電力のライオン、JERAの3社が提携し、2019年中に3つの太陽光発電所を稼働させる。事業費のうちJERAの負担は100億円超になる見通し。サウスオーストラリア州に造る発電所の出力は25万キロワットで、発電所への併設では世界最大級の10万キロワットの蓄電池を使う。電力は現地の電力会社に売る。太陽光による発電量が多い昼より夜の方が販売単価が高くなるケースがあるため、時間帯に関わらず価格が一定の日本に比べて投資を回収しやすい。日本政府は温暖化ガスの排出削減に向け再エネを使った発電の比率を大幅に高める方針だ。再生エネは天候により発電量が急増し一部を使わずに捨てるケースも現実味を帯びているだけに、蓄電量など発電量を安定させる技術課題になる。JERAは提携先のノウハウを活用し、蓄電池の劣化を抑えつつ収益を最大化できるような充放電の量のタイミングなどを学ぶ。

#### **2018.4.23 日経 再生エネ、効率よく貯蔵、ナトリウムイオン電池、寿命「リチウム」並、蓄電容量3割増加**

太陽光や風力といった再生可能エネルギーの安定供給に欠かせない次世代電池「ナトリ

ウムイオン電池」の寿命や性能を高める技術開発が相次ぐ。三菱ケミカルや東大はそれぞれリチウムイオン電池並みに寿命を延ばす技術を開発。東京理科大学は容量を3割増やした。ナトリウムイオン電池を使い続けると、寿命や性能が落ちる問題があった。再エネの余剰電力を蓄える用途向けに実用化を目指す。

ナトリウムイオン電池はリチウムイオンの代わりにナトリウムを電子のやり取りに使う。ナトリウムは陸や海に大量に存在し、コバルトといった希少金属は使わないため、低コスト化しやすいという。再エネは気象条件によって発電量が大きく変動するため、蓄電池と組み合わせて送電網への電力供給を平滑化させる必要がある。安価で、大きな電力を取り出しやすいナトリウムイオン電池は電力貯蔵の蓄電池に向くと期待を集める。ただ、充放電を繰り返すと、電解液や電極が劣化してしまい、寿命が短くなるという欠点があった。三菱ケミカルは電解液に加えると、負極の表面に保護膜を作る物質を開発した。電解液の分子などが入り込んで分解するのを防ぐ。充電と放電を3500回ほど繰り返しても容量は6割以上あった。再エネの蓄電用としては充放電5000回以上で10年間使うことが要求されており、実用化に近づいたとみている。東大の山田は物質・材料研究機構などと、ナトリウムを電解液に多く溶かすことで電解液と電極の寿命を延ばす技術を開発した。電解液中のほぼ全ての溶媒分子がナトリウムイオンを取り囲むようになり、充放電中に壊れるのを防ぐ。実験では1年以上、充放電を繰り返してもほとんど劣化しなかった。

容量を増やす成果も出た。東京理科大学の駒場教授と久保田は、正極材にマグネシウムを加えたところ、電極に蓄えられた電気が約3割増え、リチウムイオン電池と同等以上になることを確かめた。この材料は工業生産されている炭酸ナトリウムなどを使って加熱すれば、簡単に合成できる。駒場は「リチウムイオン電池より約2割安くなる」と話す。

欧州やオーストラリアなどでは、再エネの貯蔵用に蓄電池が普及し始めた。日本も再エネを主力電源と位置づける方針で、今後蓄電池利用の取り組みが本格化する。電力貯蔵用の蓄電池には、リチウムイオン電池のほか、ナトリウム硫黄（NAS）電池やレドックスフロー電池がある。リチウムイオン電池やレドックスフロー電池は高価な材料を使い、NASは加熱する必要があって装置が大型になる。ナトリウムイオン電池の技術的な課題が解決されつつあり、電力貯蔵の本命に浮上しそうだ。

#### 【時間経過】

**2011.10.17 日経「連続走行距離、ガソリン車並み、蓄電池性能大幅に向上、トヨタなど15年にも実用化、NEC寿命20年目指す」**

**2012.4.5 日経「車用次世代電池、研究活動を加速、トヨタ・京大などの産学官、走行距離3～5倍狙う」**

トヨタ自動車、パナソニック、京大などが参加する産学官のプロジェクトチームは、未来の電気自動車に使うポストリチウムイオン電池の研究を加速する。電気自動車の走行距離を現行の3～5倍に伸ばすため、最先端の科学施設に専用の装置を導入。

**2012.11.16 日経「リチウムの次はナトリウム、大容量蓄電池開発に弾み、トヨタが本腰、**

## 住化、住友電工も試作」

リチウムイオン電池の性能を上回る次世代蓄電池で、ナトリウムを使う「ナトリウムイオン電池」が有力候補として浮上してきた。

**2014.8.29 日経 酸素使う電池、大容量に、リチウムイオン電池の 10 倍、古河電池など産官学、10 年後に 1000kw**

正極に酸素、負極にマグネシウムを使う「空気電池」とその再利用システムを開発する。水や海水を注入すると発電を始める仕組み。

**2015.5.2 日経 蓄電池、他社製の半額以下、米テスラ、家庭・業務向け、まず米、日本でも発売**

テスラは 4 月 30 日、家庭やビル、大規模な太陽光発電所などで使える据え置き型の蓄電池を 8 月にも発売すると発表。EV 向けにリチウムイオン電池を量産してきた経験を活かし、価格を他社製品の半額以下に抑える。この分野で先行してきた日本勢にとって大きな脅威となりそうだ。

**2015.12.24 日経 硫黄使い、容量 4~5 倍、リチウムイオン電池電極、産総研や関大、3~5 年後に実用化、ニオブでは容量 2 倍、東京電機大**

リチウムイオン電池の電極に硫黄を採用することで電池の容量を 4~5 倍に増やす技術の開発が相次いでいる。

**日経 2016.6.4 住宅蓄電池、小型・安価に、京セラ、電気の自家消費に的、大和ハウス系半額 90 万円、充電価格下落で蓄電増に**

**日経 2016.6.7 蓄電池価格を半分に、スタンフォード大とトヨタの研究所、EV・再生エネ普及を後押し**

**日経 2016.7.9 車載電池、2.2 倍に、テスラ EV 用前倒し生産、パナソニック、18 年度売上高**

**日経 2016.10.9 リチウムイオン電池の代替、マグネシウムで実用化へ、ホンダなど低コスト、大きさ半分**

**日経 2016.10.22 蓄電池 家庭用も共同生産、パナソニックとテスラ、低価格化へ量産、米の EV 用工場で、世界市場、20 年に 3 倍に**

**日経 2016.12.19 EV400 キロ走行、充電 1 回、日立が蓄電池、容量 2 倍に、20 年の実用化を目指す**

**日経 2017.2.16 プリウス PHV 全面改良、充電 1 回 68 キロ走行、トヨタ、他車種に展開視野**

トヨタは、15 日、家庭用電源で充電できるプラグインハイブリッド車 PHV のプリウス PHV を全面改良して、同日発売した。

**日経 2017.7.30 EV が変えるクルマ経済、テスラ、初の量産車出荷、ガソリン税込先細り、走行距離分で徴収論も、「エコカー」実効性、電気の作り方で差**

**日経 2017.8.8 トヨタ、欧州で HV 拡充、ディーゼル逆風、EV 時代への橋渡し**

日経 2017.8.9 EV 時代もゴーン流、日産、逆張りの電池売却、脱・自前で調達コスト下げ

日経 2017.8.9 EV 大転換 上、海図なき戦いだ、欧州発ドミノトヨタ走らす

日経 2017.8.11 EV 大転換下、これが持続可能な未来だ、さらば石油、世界も揺れる

## 6. レアメタルの確保は？

レアメタル (rare metal)

直訳すれば「まれな金属」という意味、希少金属とも表記する。埋蔵量が少なかったり採取が難しかったりするため、生産量や流通量が非常に少ない金属のことです。

1つの金属の名称ではない。国際的な定義はないが、日本では経済産業省がプラチナ、ニッケルなど 31 種類の金属をレアメタルに指定している。このうちレアアース (希土類) は科学的な性質に近い 17 元素の総称なので、レアメタルは元素の数では 47 になる。

世界で最も大量に生産・消費されている鉄と比べると、その希少ぶりがわかる。

鉄 (粗鋼) は年間生産量が約 13 億トンに達している。レアメタルの中で最も生産量が多いニッケルでも鉄のおよそ 1000 分の 1 にすぎない。量はわずかであるが、今や自動車やエレクトロニクスなど主要産業に欠かせない金属である。このため、鉄が「産業のコメ」といわれるのに対して、レアメタルは「産業のビタミン」とも呼ばれている。

たとえばネオジウムは強力な磁石の材料となるため、ハイブリッド自動車の動力モーターに利用されている。

プラチナは自動車の排ガスをきれいにする浄化装置に欠かせない。コバルトは携帯電話などの充電電池の材料になる。

ここ数年、レアメタルの価格が軒並み上がっている。たとえば、コバルトは過去 3 年間で約 3.6 倍、ネオジウムは約 2.9 倍に急騰している。ハイブリッド自動車や携帯電話などの生産が世界的に増えているのに伴ってレアメタルの需要も急増。

しかし、産出量には限界があるため、需給がきつくなって価格が高騰するといった構図になっている。単に需給だけの問題ではなく、レアメタルの産出が一部の国に集中している点も価格上昇の一因となっている。

世界のシェアをみると、中国はレアアースの 93%、タングステンの 90%を占めている。

南アフリカはプラチナの 78%、クロムの 43%です。産出国が少ないと、消費国は「中国から買えないなら他の国から輸入しよう」といった柔軟な対応が取れない。

これらの国が生産計画や戦略を変えれば、消費国は大きく左右される。

実際、中国は 2006 年 11 月以降、レアメタルを含む非鉄金属の輸出関税を 4 度にわたって引き上げた。

南アフリカもレアメタルの価格上昇に合わせて課税額を増やす制度を検討している。

自国内での需要を優先したり、国家的な戦略物資と位置づけて収益源にしようといった姿勢がみられる。

政府は資源外交を進め、アフリカとの関係強化を行っている。また、リサイクルの推進

に取り組んでいる。

使用済みの電子部品などに含まれるレアメタルの埋蔵量は世界屈指と見られることから、効率的に分離する技術の開発に補助金を出している。さらに、備蓄や代替製品の開発なども重点政策。

最近の記事を下記に掲載する。

#### 日経 2019.1.7 「レアアース泥」本格開発へ、産総研や海洋機構、産業化へ資源量把握急ぐ

深海底にある鉱物資源の開発が本格化する。産業技術総合研究所や海洋研究開発機構などのチームが国の支援のもと、2月に南鳥島周辺の海域でレアアース（希土類）を高濃度に含む泥「レアアース泥」の含有量を調査する。沖縄周辺の海域にある「熱水鉱床」の開発でも研究は進む。産業化には正確な埋蔵量や品質の把握が欠かせない。

「予定よりも早く調査は進んでいる」。内閣府の研究プロジェクト「SIP」の一環で海底資源の開発に挑む石井プログラムディレクターは笑顔を見せる。2018年に先行して実施した航海で、南鳥島周辺の水深5000メートルの海底の25か所から試料を探った。18年度内に解析する。19年も海底の地質調査を進め、海洋機構や産業技術総合研究所などがレアアース泥の量を正確に推定する。22年度には南鳥島近海で試験掘削をする計画だ。

南鳥島近海では14年ごろから、東京大学や企業約30社などがつくる民間団体が調査や掘削技術の開発を進めてきた。東大の加藤教授らが13年に磁石に使うネオジムなどを高濃度で含むレアアース泥を発見した。国も開発の支援に動き出した。加藤教授は「市場価値の高いレアアースが多く含まれており、泥から鉱物を取り出す工程も簡単だ」と話す。専用の管で泥を海上へ引き上げ、酸に浸すと泥の中の鉱物が溶けて取り出せる。石井は「資源量を正確に把握し、なるべく早く産業化したい」と話す。国はこれまで、より浅い海底にある熱水鉱床の開発に力を入れてきた。熱水鉱床は金属を含む熱水が噴出してできたもので銅や亜鉛、金などを含む。水深1000メートル前後にあり、比較的調査しやすく研究が進んでいる。17年には沖縄周辺で採掘試験に成功している。まだ産業化には調査不足だ。石油天然ガス・金属鉱物資源機構（JOGMEC）によると、産業化には1日あたり5000トンの採掘規模が必要だという。この規模で何十年も採掘を続けられる資源量があるかは不明だ。現状ではどちらの資源も採算は不明だ。熱水校の場合、経産省の試算では設備投資に1183億円、運営に年232億円がかかり、採掘期間を20年とすると834億円の赤字となる。レアアース泥の場合、加藤教授らの13年の試算では約750億円の設備投資を約16年で回収できる。ただどちらも様々な仮定を伴う。石井は「民間の参入を促すには、産業化した場合の全体像を示すことが必要」と話す。SIPでは詳細調査を進めて企業の事業判断に必要な情報をそろえる考えだ。

中国や韓国、インド、ロシアでも海底資源の埋蔵量の調査が進む。国連下部組織の国際海底機構は、20年をめどに環境影響などを考慮した海底資源開発のルールを作ろうとしている。「採掘が海底の環境に与える影響を調べる技術で日本は先んじている」。このリード

を生かしつつ産業につなげるには、企業を巻き込んだ調査結果に基づく議論が欠かせない。

#### 【時間経過】

#### 2008.4.30 日経 持たざる国、日本 技術武器に革新の好機 資源高 未曾有の試

大容量ハードディスクの材料となるルテニウムの加工品最大手、フルヤ金属は一月、茨城県土浦市に再生工場を稼働させた。既存工場を合わせた再資源化能力は年 20 t と世界需要の半分。これがルテニウムの価格に劇的な変化をもたらした。

#### 2008 年 11 月 28 日日経「レアメタル、軒並み急落 モリブデン 8 月比 74% 安 需要減退で上げ基調一変」

モリブデン、インジウム、コバルトなどレアメタルの国際スポット価格が軒並み急落している。世界的な景気減速を受けて需要が減退。精錬や欧米のトレーダーなどが売り急ぎに転じた。今年の最高値からすでに半値以下となった品種も多く、年初からの上げ基調が一変した。

#### 2008 年 12 月 2 日日経「トヨタグループ 希少素材を自力調達 豊田通商 ベトナムで権益 環境車需要に対応」

トヨタ自動車グループはハイブリッド車などに不可欠なレアアース（希土類）の自力調達に乗り出す。傘下の豊田通商がベトナムで鉱山権益を確保、インドからの輸入販売権を持つ専門商社を買収した。総投資額は約百億円。

#### 2009.3.9 日経「眠れる資源 掘り起こせ、廃家電リサイクルから希少金属」

携帯電話などに含まれる貴金属やレアメタルを回収するビジネスが広がってきた。「都市鉱山」と呼ばれるこれら資源の国内の埋蔵量が世界最大。その将来性を見越し、秋田県を中心にリサイクル工場の集積が進む。

金は世界の埋蔵量の 16%、銀は 22%、薄型テレビに欠かせないインジウムでは 61%にも達する。いずれも埋蔵量世界一の国を上回る規模。

#### 2009 年 3 月 9 日日経「眠れる資源を掘り起こせ 廃家電リサイクルから希少金属 企業群で調達・回収 秋田県大館市など 不景気を逆手に進出 コストを抑え商機を生む 岐阜県中津川市 国内埋蔵量は世界一 資源不足日本の救世主」

#### 2009.8.12 日経「大手商社が資源開発、希少金属、エコカー用確保、住商や豊田通商、カザフなどで、脱・中国依存狙う」

住友商事はカザフスタン、豊田通商は今後 5 年間で鉱山開発に 400 億円を投じる。

#### 2009.8.29 日経「希少金属 値上がり、7 月以降、中国需要で 1~4 割」

#### 2010.1.25 日経「レアメタル価格急伸、昨秋比 2~4 割高、自動車・家電向け、日中で需要増」

#### 2010.9.19 日経「中国の輸出規制で急騰、希土類、製造業に影、車・家電向け供給不足、価格 4 倍も」

#### 2011.1.23 日経「海底資源 採掘へ着々 日本近海に豊富、探査で明らかに、熱水鉱床など、金やレアメタル期待」

「まさか「黒鉱（くろこう）」が出てくるとは」。海洋研究開発機構の高井研プログラムディレクターは地球深部探査船「ちきゅう」のデータを見て驚いた。

**2011.4.14 日経「レアメタル価格高騰 太陽光発電向け 2～5 割昨年比 原発代替需要見込む」**

**2011.7.17 日経「レアアース、独自調達に道、太平洋に巨大鉱床、採掘技術の開発は難題」**  
東京大学などの研究グループは太平洋の海底にレアアースの巨大鉱床を発見した。埋蔵量は陸上の 1000 倍が期待できる。

**2011.10.30 読売「奄美沖にレアメタル、金属資源の宝庫、海底熱水鉱床、存在か熊本大学院准教授発見」**

**2011.12.28 日経「ハイブリッド車用のレアアース、中国が輸出量限定」**

**2012.1.31 日経「携帯電話やデジカメ、レアメタル回収制度、環境省、14 年 4 月全面施行めざす」**

**2012.3.25 日経「レアアース、中国を WTO 提訴、資源の囲い込みけん制、規制の解除には時間、レアアース使わぬモーター、代替技術の開発急ぐ」**

日本は米国、欧州連合とともに、ハイテク製品に使うレアアースの輸出規制を続ける中国を 13 日に世界貿易機関（WTO）に提訴した。

**2012.3.26 日経「人工噴出口に大量レアメタル、海洋機構、沖縄沖で確認、回収装置 開発目指す」**

海洋開発機構は沖縄沖の水深 1000 メートルの海底で掘った熱水噴出口の周囲に、レアメタルを豊富に含んだ硫化物が大量に堆積していることを確認した。

**2012.5.2 日経「レアアース使わないモーター、車向け実用化間近、東北大・東工大」**

レアアースを使わない自動車用モーターが実用段階に入った。

**2012.6.1 日経「脱レアアース加速、磁石など代替、使用量縮小、取引価格も伸び悩む」**

ハイブリッドや省エネ家電に使うレアアースの需要が鈍化している。

**2012.6.13 日経「リチウムイオン電池の正極、レアメタル使わず、東北大学、電気自動車に活用」**

東北大学の本間教授は 12 日、正極にレアメタルを使わないリチウムイオン電池を開発。

**2012.6.14 日経「脱レアアース進む、1～4 月輸入量、中国産 7 割減、価格も下落傾向」**

ネオジムやジスプロシウムは現在、最高値を付けた昨年 7 月に比べ約 7 割安い。「脱レアアース」技術の普及は加速する見通しで、価格の高騰が回避できる可能性が出てきた。

**2012.6.16 日経「家電・携帯内のレアメタル、「都市鉱山」活用進まず、低い回収率、採算性も課題」**

廃家電の海外流出、携帯電話の回収率が低い。

**2012.6.29 読売、日経「南鳥島沖 レアアース鉱床、東大チーム発見、国内消費の 220 年分」**

**2012.7.31 日経「脱レアメタル加速、国が戦略拠点指定、10 年間支援、高性能磁石や次世**

## 代電池、オール日本で実用化目指す」

文科省や物質・材料研究機構、東工大、京大などは、海外に依存するレアアースを含むレアメタルを使わない新素材を開発する。

## 2012.8.20 日経「レアアース世界中から、日本、中国依存 5 割切る、今年上期、官民一体の戦略、重要に」

1～6月の中国からのレアアース輸入量は3007トン。輸入に占める中国産の比率は49.3%で、半期で50%を割り込んだ。09年までは中国産の比率が90%前後を占めていた。

## 2012.10.25 日経「レアアース生産停止、中国、政治利用が誤算、管理強化、市場原理ゆがめる」

中国はレアアースを日本に対する外交カードとして位置づけ輸出管理を強めてきたが、需要急減で国内のレアアース企業が苦境に陥る誤算が続く。

## 2013.4.1 日経 小型家電リサイクル法始動、都市鉱山、道険しく、回収に手間、委託先鍵、携帯の再資源化 37%、個人情報漏れに懸念

## 2015.11.7 日経 レアアース、国際規格策定で呉越同舟、中国影響力回復へ主導、日米豪ど独走阻止へにらみ

中国の提案で専門委員会が設けられ規格を検討中。相場の下落で生産会社の採算が悪化した。最大生産国の中国は規格作りを主導し、影響力を回復したい考え。一方日本や米国などは専門委員にあえて参加し、中国の独走を抑えようとしている。

## 日経 2016.6.2 伊豆諸島沖 海底から金、東大確認、「熱水鉱床に高濃度で」

## 日経 2016.10.6 アジア「都市鉱山」囲い込み、廃棄スマホの希少金属確保、政府、輸入審査を短縮

## 7. 水ビジネスの将来性？

### 【水ビジネスとは】

水に関係する事業の総称。上水、工業用水、産業用水、下水、淡水化、流域の環境保全などの事業がこれにあたる。

また、業態で分けるとプラント建設、水処理膜などの素材供給、施設の維持管理などが含まれる。現在、世界では水不足の問題が深刻化、これに伴い上下水道事業を中心にした水ビジネス市場の急拡大が見込まれている。

世界ではすでに「水メジャー」と呼ばれる欧州系企業が寡占的な地位を占める。日本もこれに対抗すべく産官学連携の動きが盛んになってきた。

世界では水不足の問題が深刻化している。地球の70%は水で覆われているが、このうち人が利用できる淡水はわずか0.8%。

また国連開発計画（UNDP）の予測では世界の約7億人（2006年）が水ストレス（利用可能な水が1人当たり年間1700 m<sup>3</sup>以下）を感じる生活を送っている。

この人数は2025年までに30億人に達する見込み。人口増加、都市化、新興国の経済成

長が背景にある。(利用可能な水が1人当たり年間1000 m<sup>3</sup>以下が「水不足」、500 m<sup>3</sup>以下が「絶対的な水不足」という。「水不足」の人口は2050年には10億人に)

そこで、水ビジネス市場(民営化した上下水道事業)の拡大が予想されている。産業競争力懇談会の予測(2008年)では、2025年における水ビジネスの市場規模は世界で約100兆円

このうち、日本企業が優位性を持つ基幹技術(膜ろ過やオゾン処理)の市場は1兆円、やや優位なプラント建設分野を加えても10兆円に過ぎない。

残りの90兆円はサプライチェーンの全体にかかわる事業(施設の運転、メンテナンス、顧客管理など)が占める。この分野での日本の競争力は弱い。

市場で寡占的地位を占めるのが「水メジャー」と呼ばれる欧州系企業。具体的にはSuez、Veolia、Thames Waterの3社で約80%のシェア(給水人口)を占めている。

いずれの企業も欧州、北米、アジア、南米など幅広い地域での事業展開を行う。メジャー化の背景には、欧州諸国で早くから上下水道の民営化が行われていた事情がある。

このような企業は、水道だけでなく電力や交通などの社会基盤も広く担うコングロマリットを形成する。

日本では長らく公的セクターが上下水道事業を担った。そこで民間企業にはあらゆる事業ノウハウ(対象国との交渉から事業運営まで)が不足している。

このため産官学連携による研究が必須となる。2009年1月には民間企業による「海外水循環システム協議会」が発足。

また同時期に産官学連携組織「チーム水・日本」も発足。

さらに同年7月には経済産業省が「水ビジネス。国際インフラシステム推進室」を発足させている。

我が国水ビジネス・水管領技術の国際展開に向けて(平成20年7月経済産業省より抜粋)

水需要について、2000年時点の世界水需要量は約4000k m<sup>3</sup>/年であるのに対し、2050年にはそれよりも約3割増しの約5200k m<sup>3</sup>/年まで増加すると見込まれている。

また、国連開発計画(UNDP)の予測(Human Development Report 2006)によると、今日、約7億人が水ストレスを感じる生活をしている。

同予測によると2050年には、水不足に直面する人口が10億人規模に達すると見込まれる。

地球上の水の量は約13.86億k m<sup>3</sup>、海水等97.47%(約13.51億k m<sup>3</sup>)、淡水2.53%(約0.35億k m<sup>3</sup>)、氷河等1.74%(約0.24億k m<sup>3</sup>)、地下水0.76%(約0.11億k m<sup>3</sup>)、河川・湖沼等0.01%(約0.001億k m<sup>3</sup>)。

表 世界の水需要量の推移（UNESCO1999より）単位 k m<sup>3</sup>/年、100 万人

	1950	1980	1995	2000	2025
人口	2542	4410	5735	6181	7877
農業	1080	2112	2504	2605(66%)	3189 (60.1%)
工業	86.7	219	344	384(9.7%)	607(11.6%)
都市	204	713	752	776 (19.5%)	1170 (22.3%)
計	1382	3715	3788	3973 (100%)	5235(100%)

最近になって水道に関する大きな変革が起こっている。

#### 2018.12.5 読売 水道に民間ノウハウ、改正法案参院委可決、経営改善狙う、海外では失敗例

水道事業の基盤を強化する水道法改正案が4日、参院厚生労働委員会で可決された。6日も成立する見込み。経営が悪化する自治体の水道事業を立て直すため、運営権の民間への売却を促す。海外では民営化の失敗例も相次いでおり、サービス低下を懸念する向きもある。

#### 2018.11.10 日経 水メジャー日本上陸、仏スエズ、前田建設と提携へ、水道「民営化」に商機

水道運営事業など水ビジネスを世界展開する「水メジャー」が日本市場に照準を合わせている。仏スエズは前田建設工業と業務提携の検討に入ったほか、仏ヴェオリアは浜松市の下水道運営を始めた。検針業務などの遠隔管理を武器に運営コストを引き下げる。政府は水道の運営権を民間に売却する「コンセッション」の導入で効率化を進めたい考え。民間活力を生かしたインフラの老朽化かという課題解決に取り組む。

##### 【コンセッション】

空港や道路、上下水道など公営施設の運営権を民間に売却し、運営を任せる仕組み。行政側に売却資金が入るほか、民間のノウハウで施設の収支やサービスが改善される効果も期待される。日本では2011年、PFI（民間資金を活用した社会資本整備）法の改正で広がり始めた。政府は今国会で水道事業の広域化や官民連携を推進する水道法改正案を成立を目指す。

##### 【時間経過】

2007年1月14日日経「水づくり」世界で拡大 環境技術生かす 旭化成 米中で処理膜受注 東レ 地中海圏で淡水化」

2008年5月11日日経「サイエンス 食卓には大量の水が使われている 日本は水の消費大国 食料輸入に頼り不足分を穴埋め」

2010.11.8 読売「海水や生活排水を、直径約20センチ、長さ約1メートルの円筒の中へポンプで送り込む。筒を通り抜けるだけで濾過され、一瞬で真水に。」

2011.3.8 読売「日立、中国で水ビジネス、上下水道を一括受注、欧州企業に対抗」

2011.3.8 読売「一括受注で収益拡大、運営ノウハウを蓄積、日立、水ビジネス本格化」

中国は水源が少なく、北部では水不足、南部では水質汚染が問題になっている。

2011.4.23 日経「北九州市、水ビジネス注力、官民連携 アジアでの浸透目指す」

新興国の経済成長などに伴う水需要の拡大を背景に、浄水設備の製造や上下水道の敷設、管理といった水を巡る海外ビジネスが注目されている。

2012.7.30 日経「水と都市環境、世界を左右、日本の商機広がるか」

2013.2.15 日経「アジアで水道システム、日立、既存設備で漏水検出」

## 8. 燃料電池と水素社会はいつ？

### 【燃料電池・水素の基本的な知識】

燃料電池は、水素と酸素の化学反応を利用して電気を作る発電装置。水素を燃料電池のマイナス極に供給、また空気をプラス極に供給することにより、電気を発生させる。

燃料電池は、高分子電解質膜に触媒を塗ったMEA（Membrane Electrode Assembly：膜/電極複合体）をセパレーターで挟んだ「セル」と呼ばれるもので構成されている。

一つのセルの電圧は1V以下と小さいため、数百ものセルを直列に接続し、電圧を高めている。セルを重ねて一つにまとめたものを「燃料電池スタック」、または「FCスタック」と呼んでいる。一般的に「燃料電池」と言う場合は、この燃料電池スタックのことを指している。

水素を利用した燃料電池の特長は、エネルギー効率の良さ。水素を燃やすことなく直接的に電気を取り出せるため、理論的には水素の持つエネルギーの83%を電気エネルギーに変えることができる。ガソリンエンジンと比較すると、現時点では、およそ2倍以上の効率を誇る。

### 【燃料電池で水素と酸素から電気をつくるしくみ】

水素はマイナス極の触媒で活性化され電子を放出、水素から離れた電子がマイナス極からプラス極に流れることで電気が発生する。

電子を放出した水素は水素イオンとなり、マイナス極から高分子電解質膜を通りプラス極に移動する。

プラス極の触媒で空気中の酸素と水素イオンと電子が結合し、水が生成される。

ここから最新情報を掲載する。

2019.3.23 日経 五輪テコに水素普及挑む、JERA・JX、製造で連携、コスト低減が課題

水素燃料を2020年の東京五輪をきっかけに普及させようという動きが加速してきた。東

京電力 HD と中部電力が折半出資する JERA が水素製造への参入を決め、JXTG エネルギーと組み世界最大級の製造設備をつくる。環境に優しいとされる水素は、蓄電としての活用も期待がかかる。普及に向けコスト低減できるかがカギだ。JXTG と、東電 HD 傘下の火力事業会社東電フュエル&パワー (FP) は 22 日、都内に新設する水素ステーション事業で基本合意を結んだと発表。東電 FP の大井火力発電所の一角に水素ステーションをつくる。投資額は数十億円。東電と中部電力は 4 月に火力事業を JERA に統合し、実際の事業は JERA と JXTG で進める。JXTG は横浜市で水素をつくり、水素ステーションも全国に約 40 か所で展開している。富士経済によると、国内で水素を燃料として使う需要は足元では燃料電池車 (FCV) が中心。市場は 30 年度に 1446 億円になると予測するが、その段階で FCV を抜いて柱となるとみられるのが水素発電向けだ。電気供給に向けた動きは始まっている。JXTG はパナソニックと組み、横浜市で水素を使う純水素燃料電池の実証実験を今年から始めた。水素と酸素を反応させて発電し、水素ステーションに隣接する低層階の建物に電気を届ける。実験結果をもとに同様の電池を東京・晴海で建設が進む五輪の選手村にも設置する。五輪後に選手村跡地には高層マンションが建つが、共用部には純水素燃料電池が電気を送る。既に、東京瓦斯はそのために必要な水素の導管を引き始めた。

水素は世界でも開発競争が進む。ドイツ北部では 18 年 9 月に燃料電池で走る世界初の「水素電車」が営業運転を開始。韓国・現代自動車も同時期に、今後 5 年間でスイスで 1 千台の燃料電池トラックを販売すると発表した。水素は蓄電池と同様に電気を貯める手段としても期待され、欧州などで研究開発が進む。課題はコストだ。日本でもトヨタ自動車やホンダが FCV を発売するが車体価格が 700 万円台だ。水素ステーションも 1 か所の投資額が約 5 億円とされ、ともに普及していない。エネルギー業界からは「FCV の台数がなかなか増えないのにステーションを作れない」との声もある。「鶏と卵」の関係だ。JXTG の塩田推進部長は 22 日の記者会見で、普及の転機になるとの期待から「五輪を機に水素を（一般に定着させる）レガシーにしたい」と述べる。五輪では水素で走る燃料電池バスを 100 台使う計画がある。二酸化炭素を排出せず究極のエコカーとされ、選手村などでの活用と合わせて水素をクリーンなエネルギーとして訴える狙うだ。用途が広く、長く期待されながら普及が遅れている水素燃料。「量が増えればコストは下がる」との原則が当てはまり、定着するには高いハードルを乗り越える必要がある。

### 2019.3.10 日経水素ステーション 20 年までに無人化、官民目標

燃料電池車など水素技術の普及に向け政府が策定する工程表の原案が明らかになった。水素ステーションを 2020 年までに無人で運用できるようにする。FCV の価格を大幅に値下げし、25 年までに HV 車との価格差を現 z 内の約 300 万円から 70 万円まで縮める目標を掲げる。近く開く官民の有識者会合「水素・燃料電池戦略協議会」がまとめる。会議には経済産業省のほか、トヨタ自動車、パナソニック、JXTG エネルギーなど FCV 関連の企業が参加する。水素ステーションでは、運営者が遠隔監視する無人型の施設の運用を 20 年

までに始める。

#### 2019.1.20 日経 廃プラ分解、ホテルの電力に

プラスチックのごみを分解して水素燃料を。昭和電工の川崎事業所は年間 6 万トンもの地用済みプラスチックを高温で分解して水素を製造し、同市の臨海部に建設されるホテルへパイプラインで供給する実験を 2018 年から始まった。2018.9.14 日経 水素社会、独が日本を猛追、燃料電池実用化進む、まず鉄道、来春にバス

水素を使って環境負荷の少ない社会を実現する「水素社会」の実現をドイツが急いでいる。16 日に燃料電池鉄道の世界初の営業運転を始める。旭化成は独西部で、再生可能エネルギーから水素を製造する設備の事業化をめざす。水素社会は日本が世界に先駆けて推進するが、二酸化炭素排出削減に取り組む独政府が追っている。

#### 【時間経過】

2000 年 5 月 7 日日経「低公害車、水素が”重荷“に、電気起こす燃料、供給方法難しく、燃料電池車の燃料は？」

エンジンの代わり、燃料電池を動力源に使う電気自動車が期待を集めている。化石燃料を燃やすと有害物質の発生や地球温暖化などの環境問題が避けられないが、水素と酸素を反応させる燃料電池なら無害な水ができるだけだ。ただ問題は、その水素をどう供給するか。未来の低公害車を目指し、様々な知恵が絞られている。

2000 年 8 月 12 日日経「燃料電池車 普及へ新技術、米 GM とエクソン、ガソリンから水素抽出、既存スタンド活用可能に」

2000 年 11 月 7 日日経「三菱重工、三菱自動車、ダイムラー、燃料電池車で提携、3 社、開発費分担、小型、5 年以内に量産」

2000 年 12 月 19 日読売「二酸化炭素排出抑制へ 家庭用燃料電池 数年後に実用化 発電効率は火力の 2 倍」

2001 年 1 月 1 日「トヨタ・GM・エクソン 燃料電池車を共同開発 2003 年にも市場投入」

2001 年 1 月 4 日「燃料電池の発電システム 家庭用向けに商品化へ 日石三菱が 3 年後メドに」

2002 年 1 月 20 日日経「燃料電池 携帯機器向けに 東芝・日立、来年にも実用化 パソコン駆動連続 10 時間」

2002.2.26 日経 燃料電池車など普及促進、米 30 億ドルの税優遇、燃料規制に労組は反発

2002 年 6 月 13 日「熱電併給 相次ぎ家庭向け、光熱費を削減、三菱重工 燃料電池実用化メド」

2002 年 7 月 12 日「燃料電池車 GM、日本で公道実験、トヨタは年内発売 主導権争いに熱」

2002 年 7 月 18 日日経「燃料電池 実用化へ連携、搭載車を公道試験、自家発電の実証研究も、官民プロジェクト始動、燃料電池車の普及 政府後押し、インフラ整備に弾み」

2002年7月26日日経「トヨタ・ホンダ、燃料電池車発売へ、究極の低公害車「実用化」幕開け」

2002.8.14日経 燃料電池、据え置き型量産、荏原、水素ボンベ方式、家庭用視野にノウハウ、家庭向け2004年度商品化、メーカー各社、価格などに課題

2002.9.30日経 新型燃料電池開発へ、天然ガスの利用促進、経産省・大阪ガス2005年度実用化、小型で高効率

2002.11.19日経 燃料電池車を来月発売、トヨタ国内初、まず省庁へ

2003.3.9日経 水素社会、エネルギーが変わる、燃料電池実用先陣争い

2003.4.4日経 次世代燃料電池効率競う、「固体酸化物型」の研究進む

2003.4.11日経 燃料電池、「日立」が総力、2005年参入、グループの技術結集、次世代他業種競う

2003.6.12日経 動き出す水素ビジネス、「メジャー」へ合従連衡、エネルギー流通激変

2003.6.29日経 燃料電池、パソコン内蔵、NEC、連続40時間稼働、ナノテク応用

2003.8.29日経 新日鉄、燃料電池に参入、据え置き型2005年春に発売、部品寿命4万時間超

2003.8.29日経 都市ガスから水素抽出、東京ガス、三菱重工、特殊薄膜で効率化

2004.1.27日経 風呂やTV燃料電池で、松下、荏原、交換3年不要、来年に発売へ、課題はコスト50万円台目指す

2004.6.4日経 エタノールなどの代替エネルギー、利用や開発、米で急加速、GM・フォード対応車種を拡大、シェブロン・BP燃料電池で攻勢

2004.12.7日経 東ガス、松下、荏原が世界初、燃料電池、家庭へ、課題はコスト、環境売り込む、発電の排熱利用で高効率、電気ガス代節約

2005.1.6日経 地域プロジェクトの明日、家庭に供給、電気や熱に、山口水素タウン構想、工場からパイプライン

2006.8.22日経 家庭用燃料電池、新日石とJエナジー提携、量産でコスト削減、開発や保守も共同化へ、現状は1台500万円、今年度末1200台へ、大幅な下げ不可欠

2007.8.31日経 燃料電池車向け水素、貯蔵量1.5倍、充填1回で600キロ走行、サムテック、タンク改良

2007.10.11日経 家庭用燃料電池で提携加速、新日石、コスモに供給、出光、東芝から装置、09年度本格発売、競争が激化

2007.11.27日経 二酸化炭素大幅削減の新電源、家庭用燃料電池量産へ、来年度、松下が専用工場、荏原・東芝も体制整備

2008.2.29日経 温暖化ガス削減に弾み、燃料電池付きエコ住宅、積水ハウス、標準装備で発売

2008.4.15日経 家庭用燃料電池、松下、初の量産、発電効率が世界最高、15年に50万円台目指す

2008.4.28 日経 東ガス、三菱重工、都市ガスで水素効率よく、製造装置大きさ三分の一、燃料電池車後押し

2008.7.1 日経 家庭用燃料電池、松下製、ガス3社販売、100万円想定、来年投入、15年メドに20万台

2008.7.5 日経 水素ステーション、標準仕様、10年までに、トヨタや新日石など、燃料電池車普及へ

2008.8.2 日経 家庭用燃料電池を量産、新日石、100億円投資、15年度に年産4万台

2008.8.22 日経 家庭用燃料電池に補助、温暖化対策で来年度概算要求、排出削減へ、普及促す

2009.1.20 日経 燃料電池、新日石が代理店網、100社組織、10年度目標1万台

2009年1月29日日経「燃料電池東ガスなど6社で発売 家庭の負担 180万円超 政府補助140万円 初年度目標4000-5000台」

2009.1.29 読売 西部ガス、家庭用燃料電池、販売へ

2009年2月21日読売「次世代エネルギー普及へ 大規模実証 前原で進行中 150世帯に燃料電池 初期投資の低減課題」

福岡県前原市の住宅団地で、クリーンな水素エネルギーのじつようと普及を目指す水素タウンの実証が進んでいる。

2009年3月14日日経「燃料電池 東芝、マンション向け 13年にも商品化、購入負担100万円程度も」

東芝は2013年にも、マンション向けの燃料電池システムを国内で初めて商品化する。

2009年6月27日読売「燃料電池車普及策 効果なし、197億円投入も台数は減少」

総務省は26日、総務、経済産業、国土交通、環境の4省に対し、燃料電池自動車普及策の改善を勧告した。

2009.11.1 日経 環境にやさしく光熱費を削減、家庭用エネルギーシステム、エコキュート、エコウィル、エネファーム

2010年3月20日日経「燃料電池、酸化物型の研究進む、東ガス「家庭用」寿命5倍に」

2010年6月16日読売「燃料電池車500万円前後、トヨタ、コスト1億円から圧縮」

トヨタ自動車は15日、2015年に本格販売を目指している燃料電池車の製造コストが、500万円前後になる見通しを明らかにした。

2011年1月30日読売「水素でエコ、福岡の試み 製鉄所の排出、燃料電池に利用」

日本の重工業を主導してきた北九州市で、製鉄過程で発生した水素をパイプラインで供給して燃料電池を稼働させる世界初の実証実験が始まった。

2011.7.26 日経 燃料電池、補助金底つく、家庭用の今年度分、電力不足懸念で販売急増、メーカー失速警戒

2011.9.8 日経「燃料電池、停電でも稼働、家庭用、蓄電池組み合わせ、JXエネ・東ガス、震災で停止「自立型」弱さ露呈」

2012.1.6 読売「車の燃料に県産水素、コンビナートの副産物で新産業を、エネルギー維新山口から」

2012年1月8日日経「光合成まね「太陽光資源」水素や化学原料、実用急ぐ

2012.1.16 日経「家庭用燃料電池を拡大、東京ガス 分譲地向け強化、大阪ガス 高効率の新製品、電力不足で55%増狙う」

2012.5.27 日経「水素ステーション市街地に、燃料電池車普及へ規制緩和、政府15年に100か所、国際競争にらむ」

2012.5.27 読売「水素タウン世界が注目、燃料電池にビジネスチャンス、福岡のモデル地区視察続々」

2012.10.24 日経 余剰電力、水素で貯蔵、再生エネ出力変動を吸収、東芝、英で来月から実験

2013.1.23 日経「トヨタの燃料電池車技術、BMWに年内供与、近く合意」

2013.4.5 読売 燃料電池車、年700台目標、トヨタ、15年に一般販売開発

2013.4.20 日経 水素もガソリンもOK、JXエネ、初の併設スタンド

2013.5.4 日経 燃料電池、寿命100倍に、九大が家庭用技術、5年度実用化目指す

2013.6.2 日経 水素発電所、実用化へ、千代田化工、燃料安く生産

2013.10.23 日経 無尽蔵の資源、水素が主役、燃料電池車に安定供給

2013.8.6 日経 「水素大国」日本の夜明け、余剰能力で1500万台分賄う

2013.11.18 日経 水素燃料 実用化へ前進、輸送・保管の技術確立

2013.12.15 読売「水素社会」動き加速、燃料電池車や発電、開発着々、先進地、福岡、実証実験や設備

2014.1.15 日経「水素価格、ガソリン並みに、JX、燃料電池車後押し、20年メド、低コストの供給網」

2014.2.16 日経「川崎重工業が水素発電設備、工場向け、世界初の量産、17年メド」

2014. 4.9 日経「周南に水素ステーション、岩谷産業が来春稼働、燃料電池車向け」

2014.4.15 読売 「人工光合成」温暖化を防げ、日本、産官学で推進

2014.4.17 読売 燃料電池車、五輪が契機、JX 日鉱日石エネルギー社長 一色誠一氏

2014.5.8 読売 水素の街へ、自治体が動く、福岡や周南市、ステーション誘致や補助や税優遇

2014.6.19 日経 燃料電池車に購入補助金、政府検討、1台200~300万円

2014.7.6 日経 水素ステーション100か所、JX、燃料電池車向け、政府、補助金で普及後押し、18年度めど

2014.7.11 日経 燃料電池車、トヨタ年度内に発売、水素の値段、普及への鍵、20年、ハイブリッド並み

2014.7.19 日経 燃料電池車「200万円補助」首相、普及へ支援表明

2014.7.29 日経 水素半値へ開発アクセル、燃料電池車用「ガソリンより安く」岩谷は圧縮

機ない供給装置、千代田化工は低コストの常温輸送

2014.8.29 読売 動き出す燃料電池車、普及へ長期戦、五輪をショールームへ、ステーション数、水素価格、車体価格、3つの課題

2014.9.7 読売 2020年東京五輪、水素活用、基本計画に、燃料電池車で選手送迎、水素燃料政府開発へ

2014.10.11 日経 家庭用燃料電池「エネファーム」JXエネが生産終了

2014.11.20 日経 水素液化設備を開発、川重、大量輸送しやすく

2014.11.21 日経 人工光合成で世界最高、東芝、効率1.5%、20年めど実用化

東芝は太陽光と二酸化炭素などから燃料を作る次世代技術「人工光合成」で、世界最高の交換効率を達成する材料を開発した。変換効率は1.5%で、実用化に一步近づいた。

2014.12.10 日経 「水素スタンド設置費半減」燃料電池車 普及へ規制緩和、セブン、コンビニ併設20店

2014.12.16 日経「ミライ」販促 静かな出足

「トヨタ燃料電池車、少量生産、納車、1~2年待ちも」

トヨタ自動車は15日、燃料電池車（FCV）「MIRAI（ミライ）」を発売した。

2014.12.22 日経 JX、全国で水素供給、2000スタンドに導入、低コストで生産・輸送

2015.1.7 読売 トヨタ異例の無償提供、燃料電池車特許、普及へ他社参入促す

2015.1.27 日経 水素値下げへ量産技術、千代田化工や川重、20年メド、燃料電池車HV並みコストに

日経 2016.10.24 水素エネで地域を浮揚、輸入基地や製造設備、自治体競う、神戸、川崎・・・企業と連携す進む

日経 2016.12.2 人工光合成、日本が先陣、温暖化対策の切り札、エネの効率生成課題

日経 2016.12.6 二酸化炭素、直接メタンに、昭和シェル、人工光合成で、変換効率3倍

日経 2017.1.18 トヨタ・BMW・シェルなど、車、水素利用へ13社連合、燃料電池車で新団体、研究・規格標準化を推進

日経 2017.1.20 「水素、投資活発に」推進団体発足で意欲、トヨタ会長

日経 2017.2.26 「水素社会」到来するか、法整備勧め土壌作りを、岩谷産業、野村

日経 2017.3.4 水素エネ、低コストで、IHI、発電設備を実用化、千代田化工、燃料電池車に供給

日経 2017.3.11 家庭用燃料電池、海外を開拓、パナソニック欧州向け新機種、アイシン、ボッシュと連携

日経 2017.8.10 燃料電池車の導入、セブン・トヨタ合意、店舗への配送に活用

日経 2017.12.12 水素スタンド11社連合、トヨタや日産が新会社、2022.3までに国内80か所

日経 2018.1.26 燃料電池車、2040年の普及目標300万~600万台に、NEDO航続距離1000キロ

日経 2018.1.19 燃料電池、コスト半減、トヨタ、20年以降に新型車

日経 2018.2.4 サウジ国営会社「サウジアラムコ」と岩谷産業提携へ、脱原油依存を目指し、原油から分離した水素の液化、運搬で、岩谷産業が技術供与

日経 2018.2.23 太陽光発電で水素発生装置 長州産業とトクヤマ実験

日経 2018.2.26 人工光合成の装置試作、三菱ケミカル、TOTOなどが参画する人工光合成化学プロセス技術組合は、光触媒を使って水から水素を取り出す大型反応装置を試作した。

日経 2018.3.6 劣勢「水素カー」突破口は、ステーション整備へトヨタなど新会社、距離強み輸送用に期待も

日経 2018.3.12 水素分離コスト2割減、RITEと千代田化工、燃料電池向け

日経 2018.3.24 水素エネ重視に転換、政府、基本計画に今夏明記、インフラ輸出へ先手、EVシフトで孤立懸念、燃料電池車、水素普及のカギ、トヨタ、コスト削減に力

水素社会については、2016年に詳しくまとめているので、その一端を以下に記載します。

水素社会の到来は、発電を全面的に水素に置き換える時期がポイントになる。

二酸化炭素による温暖化が深刻化しており、少なくとも2070年代には化石燃料を電力に使うことはなくなる。その前の過渡期として「再生可能エネルギー」と「水素」のコラボレーションによる発電が主になる。

「水素社会」実現に向けて取り組む項目は、水素利用の飛躍的拡大、家庭用燃料電池のエアコン並みの価格、燃料電池自動車のコスト低減である。

**Key Words** : 社会教養としての知識、自然科学、水素社会、燃料電池、燃料電池車、水素発電

水素の供給量は燃料電池車への供給に限定すると現在の日本の供給能力で十分である。しかし、発電にも水素を利用すると追加の供給が必要になる。

水素の製造プロセスで生ずるCO<sub>2</sub>排出は、再生可能エネルギーを用いた水電解を行った場合には非常に少ない。汚泥による水素製造も有力である。副生水素（苛性ソーダ、鉄鋼）は、副次的に発生する点を踏まえると、CO<sub>2</sub>の排出は非常に少ない。また、光触媒による水素製造（人工光合成による方法）は二酸化炭素フリーであり、将来の理想的な製造方法と言える。

家庭用燃料電池は、50万円を切るときに大幅に普及する可能性が高い。さらに、エアコンと同じ程度の20万円台になると、全家庭への普及が進む。将来は水素を天然ガスの代わりにガス管を通じて供給することになる。

燃料電池車の市場は、2020年が1つの契機となる。東京オリンピックをきっかけとした海外へのアピールで、燃料電池車の引き合いが広まる可能性が高い。日本では、大衆車（200万円台）に燃料電池を搭載するようになれば、水素ステーションが整備され、大幅に普及が進む。

水素社会がいつ訪れるのか？そのキーポイントは、現在の火力発電の主力である天然ガスによる発電を全面的に水素にいつ、置き換えるのかによる。発電を全面的に水素で置き換えることにより、水素の生産コストは下がる。

二酸化炭素による温暖化が深刻化しており、少なくとも 2070 年代には化石燃料を電力に使うことはなくなる。この時点で発電は「原子力」「再生可能エネルギー」「水素」の 3 つになる。日本のような火山国では「原子力発電」は不向きである。そうすると、「再生可能エネルギー」と「水素」のコラボレーションによる発電となる。再生可能エネルギーを使って水素を製造する、あるいは太陽光を使って直接水素を製造することで、家庭用の電力、自家用車は自給できる。大規模発電も水素になれば、完全に水素社会が実現できる。

### 【水素とは】

水素は元素番号で 1 番目、記号は「H」です。全くの無色透明で臭いもしない。地球上で最も軽い気体、マイナス 253 度以下に冷やすと液体になり、体積は 800 分の 1 ほどになる性質がある。地球には豊富にあるが、水素分子「H<sub>2</sub>」単体ではほとんど存在しない。

### 【水素をどのように利用するのか】

水素は以前より宇宙ロケットの燃料、石油精製・半導体工場に必要な産業用ガスとして使っている。また、バターの添加剤、口紅やビタミン剤の原料にもなっている。

この研究で取り上げる水素の利用方法は、燃料電池を使った家庭での発電（廃熱利用の給湯も含む）及び車の動力源としての利用です（この 2 つの利用方法はすでに実用化している）。またガス発電への利用は試験運用の段階です（後述）。

### 【電気の発生】

電気とは、電荷という電気の性質を持った粒子のことです（世間一般には、電灯や電力のことを電気と言っている）。この粒子は、マイナスの電荷を帯びた電子とプラスの電荷を帯びた陽イオンです。この粒子の流れが電流、つまり電流は電荷の移動、電気量は電荷が持つ電気の量です。

電流はプラス側からマイナス側に流れる。このとき電子は、反対にマイナス側からプラス側に流れる。両者の向きが反対なのは、電流が電子の流れであることを発見する前に、電流の流れる向きをプラスからマイナスと決めてしまったからです。

### 【電池の原理】

化学電池は、プラス極、マイナス極の物質と電解質からなり、化学反応を利用して電気を取り出す仕組みで、様々な種類がある。

化学変化と電気を結びつけるには[イオン](#)の存在が必要です。金属（陰極）を電解質溶液に入れると金属が溶解して正の電荷を持った金属原子（金属イオン（+））が電解質溶液中に広がり、金属（陰極）には電子が置き去りにされた（負の電荷の蓄積）状態になる。

もう一方の電極（陽極；電解液に溶けない金属を選ぶ）を電解質溶液に入れても電極が溶解しないので電子は発生しない。

そこで、この電極（陽極）と電子が蓄積された金属（陰極）を導線で接続すると、陽極

側に導線を通じて電子が移動し、電解質溶液中に拡散している金属イオンが陽極に引き付け、陽極の表面で金属イオンは電子をもらって元の元素に戻る。

この過程で、溶解によって過剰になった金属（陰極）の電子は電極（陽極）に流され、溶解された金属イオンは電極（陽極）に移動する。これは金属（陰極）の溶解が続く限り金属（陰極）から電極（陽極）から電子が流れ続ける（電流は逆方向）ことなる。これが電池の原理です。

### 【燃料電池】

燃料電池は、水素と酸素の化学反応を利用して電気を作る発電装置です。水素を燃料電池のマイナス極に供給、空気をプラス極に供給すると電気が発生する。

水素はマイナス極の触媒で活性化され電子を放出し、水素から離れた電子がマイナス極から導線を通してプラス極に流れることで電気が発生する。電子を放出した水素は水素イオンとなり、マイナス極から高分子電解質膜を通りプラス極に移動する。プラス極の触媒で空気中の酸素と水素イオンと電子（マイナス極から導線を通してプラス極に到達した電子）が結合し、水が生成される。

燃料電池は、高分子電解質膜に触媒を塗った MEA (Membrane Electrode Assembly) をセパレーターで挟んだ「セル」で構成している。一つのセルの電圧は 1V 以下と小さいため、数百のセルを直列に接続し、電圧を高めている。セルを重ねて一つにまとめたものを燃料電池スタックまたは FC スタックと呼んでいる。燃料電池は、この燃料電池スタックのことを指している。

水素を利用した燃料電池の特徴は、エネルギー効率の良さです。水素を燃やすことなく直接、電気を取り出せるので、理論的には水素の持つエネルギーの 83% を電気エネルギーに変えることができる。ガソリンエンジンと比較すると、およそ 2 倍以上の効率です。

### 【電解質、触媒、電極、セパレーター】

電解質は、水などの溶媒に溶け、電離して陰陽のイオンを生じる物質です。触媒は、特定の化学反応を速める物質です。その物質自身は反応の前後で変化しない。電極は、電流を通す時の電気が流れ出る方（＝陽極）と流れ込む方（＝陰極）との両端につけた導体です。セパレーターは、燃料電池セル同士を区切る導電性平板で、一对のセパレーター間には発電に必要な電解質膜・電極等が納められている。

### 【水素の製造】

水素は化石燃料のように一部地域に限定されたエネルギー資源ではない。また様々なエネルギー源から、どんな場所でも製造できる。現在、水素は宇宙ロケットの燃料、石油精製や半導体工場に必要な産業用ガスに使われ、バッテリーの添加剤、口紅やビタミン剤の原料の一部にも利用されている。国内では年間 150 億  $\text{Nm}^3$ （ノルマルリューベ；0 度 1 気圧のガスの標準時の体積を表す単位）の水素が生産されているが、その 95% 以上が石油精製や化学プラントなどの自家消費に使われている。

水素はクリーンなエネルギーと言われているが、「どんな方法で作られる」かがポイントとなる。例えば家庭用の燃料電池（エネファーム）は、都市ガスから水素を抽出することで、効率よく電気や温水にしようというエコ製品です。効率よくエネルギーを使う意味ではエコですが、利用する水素は天然ガス由来、つまり原料は二酸化炭素を排出する化石燃料です。一方で、製油所や化学プラントで発生する水素は、副次的に出るガスなので環境負荷は小さい。産油国から副生ガスを水素にして日本に運ぶ試みも始まっている。さらに、木材や汚泥などバイオマス資源から生まれる水素や、太陽光や風力など自然エネルギーで作る水素もある。究極的には光触媒パネルで水と光から製造する方法がある（図1参照）。

2013年8月6日日経によると『「水素大国」日本の夜明け、余剰能力で1500万台分賄う。実は、日本は水素大国だ。製鉄などの副生成物として大量に発生するほか、ガソリンなどを精製する際、硫黄分を取り除くためにつくる大量の水素が今後は製油所の縮小で余剰になる。日本の生産能力は年間約300億Nm<sup>3</sup>。これに対し、石化や産業ガス、ロケット燃料などで使われる総需要は約半分だ。余剰の能力を活かせないか。これを使えば例えば水素で動く燃料電池車が年間1500万台動かせる計算。日本は厳しい二酸化炭素の削減目標に挑み、東日本大震災の後は天然ガスの輸入増加で貿易収支の改善が課題になっている。』

NEDOエネルギー白書2014によると「現在、国内の水素供給は150億Nm<sup>3</sup>程度であり、その大半は製油所における脱硫プロセスや工場におけるボイラー等の燃料として自家消費されており、産業ガスとして外販されている水素は2億Nm<sup>3</sup>程度にとどまっている。しかしながら、製油所の水素製造装置を用いた追加的な水素製造や、苛性ソーダ製造に伴って発生する副生水素の外販、更には追加的に導入される水素製造設備による水素製造等によって、2030年頃の追加の供給ポテンシャルは120～180億Nm<sup>3</sup>程度になるとの試算がある。この追加的な水素供給量は、燃料電池自動車換算で900万～1,300万台程度であることから、当面の間は国内の水素供給能力で対応可能とも考えられる。しかし、水素発電が現実化すると、より大きな水素需要が発生することになる。仮に2030年までに新設・リプレースされるLNG火力発電に50%の水素が混合された場合（混焼）、水素需要は最大で220億Nm<sup>3</sup>が必要になり、我が国の供給ポテンシャルを超過する可能性があるとの試算もある。」

上記のように、水素の現在の日本の供給能力は燃料電池車への供給に限定すると十分であるが、発電にも水素を利用すると追加の供給が必要になる。

以下に水素の製造方法をまとめた。

#### 【副産物としての水素】

化学コンビナートでは、ソーダなどの製造過程で大量の水素が副産物として発生する。その量は年間約32.9億Nm<sup>3</sup>です。水素は山口県の瀬戸内のコンビナートでも豊富に発生し、全国の約1割を占める。周南市のトクヤマなどがカセイソーダ製造時に出す水素は純度が高い。塩を水に溶かして電気分解すると、カセイソーダと水素ができる。

資源エネルギー庁によると「食塩電解により苛性ソーダを1トン製造する際に、副生物

として水素が280Nm<sup>3</sup>発生する。苛性ソーダの生産量（平成24年度は357万トン）から見積もと、苛性ソーダ製造プロセスで発生する副生水素は約10億Nm<sup>3</sup>です。」

水素は石油精製や製鉄の生産過程でも生じる。鉄鋼の製造過程では一定量の水素を含む副生ガスが発生、これを精製して純度を上げることで水素ガスとして利用できる。特に石炭を乾留（蒸し焼き）してコークスを製造する過程で発生するガスのうち、約 55%は水素で、その量は資源エネルギー庁の試算で約 70 億 Nm<sup>3</sup>です。

石油精製の過程では、一部副生水素が発生するものの、全て脱硫等に用い、水素が不足するため主としてナフサ等から製造し追加投入している。この水素製造装置の稼働率を上げることで、外部へ供給する水素製造が可能です。しかし、追加供給には追加の原料投入が必要であり、「副生」とは言えない

アンモニア製造は、水素に空気中の窒素を固定することで行う。この際に用いられる水素は、主として水素製造装置を用いて化石燃料等から製造される。このため、水素製造装置の製造余力を用いてさらに水素を製造することは可能である（これも追加供給には追加の原料投入が必要であり、「副生」とは言えない）。

#### 【化石燃料から水素生産】

天然ガス、LPG、ナフサ、石油などの炭化水素からの水素製造は、水蒸気を用いてガス化する水蒸気改質法などによって行われており、製油所やアンモニア製造所における水素製造装置にも用いられている。この他、工業用に小型の水素製造装置の販売も行われており、水素ステーション向けの水素製造装置も開発されている。家庭用燃料電池は都市ガスを燃料とし、水蒸気改質法による「改質」により水素を生成する方法を採用し、既存の都市ガス供給のインフラを活用している。

#### 【再生可能エネルギーから製造】

電力会社が受け入れ不可能なほど太陽光発電が各地で稼働すれば、せっかく作った電気でも、捨てるしかない。しかし、余った電気で水を電気分解して水素を作れば、エネルギーの「貯蔵」が可能になる。太陽光発電から作った水素は二酸化炭素フリーであり、地球環境問題の解決に寄与できる。

資源エネルギー庁によると「再生可能エネルギーなどにより発電された電力を用いて水素を製造する水電解システムについて、大型化するとともにより低コスト・高効率となるよう技術開発を行っている。」

以下に、新聞記事より明らかとなった取り組みを紹介する。

2014年8月25日読売によると『「余る再生エネで水素製造」環境省が乗り出す。土地が広く、太陽光パネルを設置しやすく、風力発電に適した風も吹きやすい北海道では、太陽光発電や風力発電を手掛けえる企業の進出が進み、再生可能エネルギーで得られる電気が余ることがことが予想されている。余剰分は本州に送電することも可能だが、北海道と本州をつなぐ海底送電線は容量が限られており、道内の再生可能エネルギーを十分に活用で

きない恐れがある。このため、環境省では、この地域の力を最大限に生かすため、余った電気で水を分解して水素を作り、電力消費地の関東に燃料として運ぶ仕組みを設ける。来年度から数カ所でモデル事業を実施。水の電気分解装置、貯蔵するタンク、水素ステーションへの最適な輸送方法などを検討する。3年程度での本格実施を目指す。』

2015年9月25日の読売によると『「太陽光」需給調整に限界、契約済み設備完成相次ぐ、九電「一時停止指示」不可避か。九州電力が「太陽光発電が増えすぎ、停電の恐れがある」として、事業者との接続契約を中断して25日で1年。1月には無制限に発電停止を指示できる新ルールを導入し、契約を再開した。この結果、申請件数は減ったが、旧ルールで契約していた設備の完成が相次ぎ、供給過剰の懸念は払拭されないままだ。6月4日、正午からの1時間に管内の太陽光発電の平均出力が過去最高の407万kwに達した。原発4基分に相当し、この間の需要（1016万kw）の4割を賄った。だが、出力は夕方から急激に落ち、夜はゼロになった。電力は需要に対し、供給が多すぎたり少なすぎたりすると電圧が乱れ、停電を招く。』

また、2015年10月8日の日経によると『風力送電網「風」読み違え、北海道の新設計画凍結へ、かさむ投資、採算合わず、首都圏への送電整備も不足。三井物産、ソフトバンク傘下のSBエナジーなどが北海道北部での送電線の新設計画を凍結する。送電線の整備凍結により、SBエナジーが計画する最大出力60万kwの風力発電所建設もメドが立たなくなる見通し。』

2015年4月21日の読売によると『硫黄島（鹿児島三島村）では地熱発電で水素製造を行う計画が進んでいる。川重と大林組が実証プラントの建設に向け、今年度から掘削調査に入る。2020年までの実用化を目指す。硫黄島の活火山である硫黄岳（703m）に着目、山頂付近には多数の噴気孔があり、900℃程度の高温の火山ガスが常時噴出している。通常地熱発電と違い、深く掘削しなくても高温の火山ガスが得られる利点がある。

計画では、火山ガスで水を沸騰させ、蒸気でタービンを回して発電する。水素を取り出すための水は海水を淡水化して使う。製造した水素ガスはマイナス253度に冷却して液化し、タンクに貯蔵し、フェリーで島外にコンテナ輸送する。硫黄島では2013年度から基礎データの収集を始め、1日18トンの液体水素の製造が可能という。燃料電池車で3600台分を賄える計算となる。今年度はボーリング調査を行い、早ければ2016年度から実証プラントの整備に入る。』

地熱発電、風力発電、太陽光発電が有力な場所の多くは、送電網や遠隔地などのために直接我々が電力を利用するのに問題がある。このような地域では発電した電力で水素を製造し、それを貯蔵し、必要に応じて電力の燃料として供給するほうが適している。

以上のように、再生可能エネルギーを使った水素製造の取り組みは、水素利用拡大によって本格的な事業展開をする。

### 【汚泥から水素】

全国に汚泥発酵でバイオガスをつくる下水処理場は約300か所ある。その約3割に当た

る 8500 万 $\text{m}^3$ が利用されずに空気中に放出されている。この国内の下水処理場の余剰エネルギーを使えば、FCV260 万台分の水素を作ることができる。

2015 年 4 月 1 日の読売によると『福岡市が九大などと連携して建設した水素製造・供給施設「水素ステーション」の完成式典が市中部水処理センターで行われた。下水の汚泥から水素を作り、燃料電池車に販売する世界初の施設となる。

同市や九大、民間企業 2 社が共同で、下水を活用した技術の開発を進める国の事業を活用。総事業費約 13 億円の全額補助で建設。行政向けの供給を始める。センターで下水を処理した後に残る汚泥発酵でメタンガスを収集、水蒸気と反応させて水素を発生させ、隣接の供給設備で販売する仕組み。1 日あたり FCV65 台分の水素を製造可能で、供給設備での補充時間は 3 分程度という。市などは 4 月中の一般販売を目指す。国と協議して正式に販売金額が決定するまでは、行政が保有する FCV にのみ供給する。』

このように、メタンガスから水素を発生する仕組みも本格的になる。

#### 【光触媒パネルで水から製造（人工光合成による製造）】

光触媒に太陽光が当たることで、水から直接水素を取り出すことが可能となる。太陽光発電と同様に天候に左右されるものの、将来的に実用化されれば、二酸化炭素フリーで水素を製造することが可能となるため、期待される技術です。

資源エネルギー庁によると「水や二酸化炭素を原料に、太陽エネルギーを用いてプラスチック原料等の基幹化学品を製造するプロセス開発の一環として、水から水素を製造する光触媒の研究開発を行っている。」

2015 年 4 月 1 日の日経によると『東大・三菱化学などの研究チームは銅などが混ざった触媒を応用し、太陽光を使う効率を 2.2%とこれまでの最高にできたという。2021 年度末までに、実用化の目安となる 10%の変換効率を目指す。研究チームは銅やビスマスという材料を組み合わせた触媒を作った。水中に沈めて光を当てると、水素と酸素が出てくる。水素だけが通り抜ける膜で、水素だけをより分けた。これまでの効率は同チームで 0.2%。研究は産学が参加する新エネルギー・産業技術開発機構（NEDO）のプロジェクトの一環。将来は赤道直下で水素を大量に生産し、火力発電所などで排出した二酸化炭素と反応させて有用な物質に変えたいとしている。』

2015 年 7 月 4 日の日経によると『パナソニックは新エネルギーとして水素を家庭で簡単につくる技術を開発する。太陽光で水を分解して水素を得る仕組みで、パネル状の装置を屋根に敷き詰める。家庭で使う電気を全量賄える性能を視野に「ポスト太陽電池」として 2030 年ごろに実用化を狙う。同社が独自に開発した「ニオブ系窒化物触媒」は可視光でも水素を生み出せる。パナソニックは住宅を水素工場にする。』

2016 年 2 月 1 日の日経によると『豊田中央研究所が化学原料となるギ酸の合成に関し、エネルギー効率を 4.6%まで高めたと発表した。半導体基板の片面に貴金属のイリジウムを使った触媒、もう一方の面にルテニウムの触媒を張り付けた素子を開発。これを水の中に入れ、二酸化炭素を吹き込みながら太陽光を当てると、高い効率で合成できた。人工光合

成の性能は、照射した光エネルギーの何%を合成した有用物質のエネルギーに変換できるかで決まる。サトウキビの効率は約3%。』

上記した光触媒パネルで水素を作る試みは、人工光合成のことである。将来的には、この方法による水素製造が主体となれば本当の意味での水素社会の到来となる。

### 【家庭用燃料電池の普及状況】

家庭用燃料電池の開発は2000年末ごろから急速に進んできた。現在（2015年）、この電池は累積販売台数で10万台を超えている。国の目標は2030年に全世帯（2008年10月総務省統計調査では住宅5759万戸、世帯数4997万世帯）の1割としている。つまり、普及数は約500万世帯を目標としている。2015年4月の価格は160万円です。メーカーが2010年代後半に50万円台としている目標も現実味を帯びてきている。

NEDOエネルギー白書2014によると「2009年に世界に先駆けて家庭用燃料電池システムの市場導入を実現、政府は普及促進のため補助金による支援制度を実施。補助金の金額は技術開発の進捗によるコスト低減効果で、年ごとに減額、2015年度末で終了する予定。」

また、同報告書では「2013年度のエネファーム出荷台数は、固体高分子型燃料電池（PEFC）システムが32,431台、固体酸化物型燃料電池（SOFC）システムが1,434台であり、2014年4月末における普及台数は76,780台。2009年の市場投入当初は300万円程度であったユーザー負担額（設置工事費込み）は、国の補助金制度も含め、現在、概ね150万円程度で半減している。」

この電池普及のこれまでの経過を以下にまとめた。

2000年12月19日の読売によると『資源エネルギー庁が長期エネルギー需給見通し（1998年）では、2010年度には国内発電容量の1%、220万kwがこの電池で賄うと予測している。東京ガスの実験では、発電で生じる熱を給湯などに活用すれば発電効率は火力の2倍の80%になる。価格は50万円程度で5年後の実用化を目指す。』

2001年1月4日の日経によると『日石三菱は、この電池の発電システムを2004年を目処に、市場に本格投入すると発表。価格を100万円程度、最終的には20万円程度まで安くしたい』としている。

2002年6月13日の日経によると『三菱重工が都市ガスを燃料とする固体高分子型燃料電池の実用化にめどをつけたと発表。2005年に都市ガス会社を通じて販売予定。量産化が進む2010年ごろには20万～30万円と見込んでいる』と記載されている。

このように各社は燃料電池発売を2005年までに実現、価格も20～50万円とするような発表をしていたが、現実にはこの時点（2005年）では発売していない。

その後、この電池の開発には大阪ガス、西部ガス、日立、NEC、新日鉄、ホンダ、松下、荏原、出光、東芝、コスモ、積水ハウス、TOTO等の企業が参入し、2009年に入ってようやく価格、補助金などの設定に関する発表があり、発売が現実味を帯びてきた。

2009年1月29日の日経によると『東京ガス、新日本石油など都市ガス、LPGの大手6社が、2009年度からこの電池を1台320万円強で発売すると発表。政府の補助が140万円あ

るので個人負担は180万円強になる。初年度の販売目標は4000～5000台である。』

2009年2月21日の読売によると『大規模な実証実験が福岡県前原市で行われている。これは、福岡県が発足させた産学官の戦略会議が2008年10月～2009年2月にかけて、この電池システムを150世帯に設置し、4年かけて機能の改善点や光熱費の節約状況などを調べる。実証実験の費用は1戸につき、システム本体が300～400万円、工事費が100万円程度、国がシステム本体に220万円、県が工事費に40万円を補助、各家庭は基本的には光熱費のみを負担している。普及に向けてはコストダウンが最大の課題』としている。

2010年3月20日の日経によると『「燃料電池、酸化物型の研究進む、東ガス「家庭用」寿命5倍に」2010年代前半の実用化をめざし、固体酸化物型燃料電池の研究が加速。東京ガスなどは家庭用の寿命を従来の5倍に延ばす技術を開発し、実証実験を始めた。日立製作所なども業務用で長時間の連続稼働に成功。火力発電所よりも発電効率が高く、優れた商品として普及を狙う。

東京ガス、京セラ、リンナイ、ガスターが共同開発したSOFCの実証実験が昨年12月に始まり、「ほとんど劣化は見られず、5年間は持ちそうだ』。

2011年7月26日の日経によると『燃料電池、補助金底つく、家庭用の今年度分、電力不足懸念で販売急増、メーカー失速警戒』

東日本大震災の影響で全国の前発が停止し、電力不安により燃料電池が急激に売れ、補助金が底をつく事態となった。

2012年1月16日の日経によると『国内ガス大手が、都市ガスを使う家庭用燃料電池事業を拡大。原子力発電所の再稼働が不透明な中、家庭でも電力不足への対応や停電などの事態に備えるニーズが増すと判断、分譲地に一括提供する販売手法や価格を抑えた製品の投入で需要を喚起する。東京ガス、大阪ガス、東邦ガスの家庭用燃料電池「エネファーム」の12年度の販売目標台数は1万4400台。11年度実績見込みの9250台を大幅に上回る。

エネファーム普及へのハードルのうち、導入価格は1台200万円以上で、国の補助金を受けても最低150万円程度の自己負担が必要となる。しかも今の補助金制度は15年度までに切れる。各社はメーカーと協力してコスト引き下げを急いでおり、東京ガスは「できるだけ早く100万円を切りたい」、大阪ガスも「10年代後半頃に50万～60万円に」と意気込む。』

2014年10月11日の日経によると『JX日鉱日石エネルギーは、10日、来年3月末で「エネファーム」の自社製品の開発と生産を終えると発表。製品は東芝から仕入れて販売する。』そして2015年2月5日の日経によると『東京ガス、パナソニックの「エネファーム」は現行より30万円安い、160万円で発売した。』

今後の展開としては、この製品が50万円を切るときに、大幅に普及する可能性が高い。さらに、エアコンと同じ程度の20万円台になると、全家庭への普及が進む。水素を天然ガスの代わりにガス管を通じて供給すれば全家庭に普及する。

#### 【燃料電池車の普及状況】

2014年12月、トヨタ自動車は燃料電池車（FCV）「ミライ」を発売した。世界初の市販車として注目を集めるが、燃料の水素を補給する水素ステーションの整備などの課題も多い。さらに、ホンダが2016年3月に燃費でミライを100キロ上回るFCVを発売する（720万円）。

この燃料電池車普及のこれまでの経過を以下にまとめた。

#### 【燃料電池車の創成期】

2000年5月7日の日経によると『エンジンの代わりに燃料電池を動力源に使う電気自動車が期待を集めている。化石燃料を燃やすと有害物質の発生や地球温暖化などの環境問題が避けられないが、水素と酸素を反応させる燃料電池なら無害な水ができるだけだ。ただ問題は、その水素をどう供給するか。未来の低公害車を目指し、様々な知恵が絞られている。燃料電池は水の電気分解とちょうど逆の反応を起こしてエネルギーを取り出す発電装置だ。酸素は空気中にあるが、水素は人為的に供給する必要がある。最も単純な方法は、水素そのものを自動車に積んでしまう方法。2002年にダイムラー・クライスラーが欧州で発売する予定の燃料電池バスがこの方式。燃料電池自動車の実用化第1号となる。天井に巨大なボンベを積み、圧縮した水素ガスを蓄える。』と、私は初めて燃料電池車の紹介記事を読んだ。

2000年8月12日の日経によると『GMとエクソン・モービルが燃料電池車の普及型技術を開発したと発表。同時に水素をガソリンから取り出す技術を確認し、一般普及にメドをつけた。米フォード・モーターもこの技術を採用する公算が大きく、燃料電池車はガソリンスタンドと言う既存インフラを活用した形で広がる可能性が強まっている。2003年前期の実用化に向けて公道などでの走行試験に乗り出す。フォードもほぼ同様の技術を使うと見られる。GMとエクソンが開発したシステムは改質器と呼ばれる装置を使ってガソリンから水素を取り出す。化学反応が始まる温度を千℃前後まで下げられるようにし、装置の軽量小型化で燃料電池車価格の大幅引き下げにつながるうえ、燃費効果の向上も可能にした。GMによると、燃費効率は通常ガソリンエンジンの二倍、二酸化炭素や窒素酸化物の排出量も大幅に減少する。』ここでは、ガソリンを改質する案が有力になっている。

2000年11月27日の日経によると『三菱重工業、三菱自動車工業が燃料電池の開発でダイムラー・クライスラーと提携し、4年から5年以内に小型軽量の燃料電池車を共同開発して量産化すると発表。開発ではトヨタ自動車とGM、ルノーと日産自動車がそれぞれ提携している。三菱重工業は、メタノール改質技術に強みを持ち、技術を共有しやすい。これに対し、米GMはガソリンの改質技術を本命視している。ダイムラー・クライスラーの日本法人はすでに日石三菱と燃料電池車の燃料供給インフラの共同研究を始めている。』ここでは、メタノールVSガソリンとなっている。

2000年12月12日の日経によると『燃料電池の技術開発で先行するのがカナダのバラード・パワー・システム社である。ダイムラー・クライスラーとフォード・モーターの両社は、いち早くこの技術に目を付け、バラード社と提携した。このグループで燃料電池車市

場をリードすることを狙っている。これに対する勢力が、電気モーターとガソリンエンジンを効率よく組み合わせて走るハイブリッド車を、いち早く市場に投入したトヨタ自動車である。トヨタ自動車は、独自の技術開発を進めると共に、GMとも燃料電池車の開発で提携している』。ここでは、燃料電池車 VS ハイブリッド車となっている。

燃料電池車に水素を供給方式は、純水素を供給、メタノール、天然ガス、ガソリンのそれぞれを改質して取り出した水素を供給する方法の4つがある。純水素を供給する方式はさらに、水素吸蔵合金を使う方法、高圧でガス充填した水素を使う方法、千代田化工建設の有機ハイドライド方法の3つに分けられる。

2001年1月1日の日経によると『トヨタ、GM、エクソン・モービルの3社が燃料電池車を共同開発する方向で最終調整に入った。ガソリンから取り出した水素を化学反応させて電気を作り、車を動かす仕組みだ。燃料電池車は世界的な統一規格が定まっていないが「トヨタ・GM・エクソン連合」は世界標準の確立を目指し、主導権を握る考え。米カリフォルニア州が2003年から市販車の10%を二酸化炭素を出さない無公害車とするように自動車メーカーに義務付けるなど、世界各地で環境規制が強まっており、自動車メーカーは動力源としてガソリンを燃焼させる現在の方式からの転換を迫られている。』ここでは、トヨタ、GM、エクソン・モービルが共同でガソリンを使った燃料電池車の開発に乗り出したことが掲載されている。

2001年2月14日の日経によると『ダイムラー・クライスラーとマツダは、走行試験を始めると発表。ホンダも独自開発した電池を使って、米国で公道試験を始めた。三社のほか、トヨタ自動車、GMなども性能テストを急いでおり、各社は1年から3年後をメドに実用化に踏み切る。電池に必要な水素の供給方法や装置のコスト削減など課題が克服されれば、将来は自動車だけでなく家庭の電源など幅広い用途が期待される。』

2002年7月12日の日経によると『「燃料電池車 GM、日本で公道実験、トヨタは年内発売 主導権争いに熱」』

2002年7月18日の日経によると『燃料電池の実用化へ向け、官民共同プロジェクトが始動する。経済産業省が17日発表した計画概要によると、「燃料電池自動車」「水素供給施設」「自家発電設備」の実証試験にトヨタ自動車、新日石など26社・団体が関与、3年かけて課題を探る。』

### 【燃料電池車、発売へ】

2002年7月26日の日経によると『「トヨタ・ホンダ、燃料電池車発売へ、究極の低公害車「実用化」幕開け」』

2002年7月31日の日経によると『燃料電池車、来年度中に発売、日産、2年前倒し、日本限定』

2002年11月19日の日経によると『燃料電池車を来月発売、トヨタ国内初、まず省庁へ。トヨタは国内初の燃料電池車を12月2日から内閣官房、経産省、国土交通省、環境省に各

1 台リース方式で販売、1 回の水素充填で 300 km、リース料は月額 120 万円。』これが、当時の内閣総理大臣小泉首相が乗っていた 1 億円とも言われた、国産初の燃料電池車で直接、水素を燃料としている。

2004 年 6 月 4 日の日経によると『エタノールなどの代替エネルギー、利用や開発、米で急加速、GM・フォード対応車種を拡大、シェブロン・BP 燃料電池で攻勢』

#### 【燃料電池車の低迷期】

これ以後、新聞紙上から燃料電池車に関する話題はほとんどなくなった。代わって家庭用燃料電池の話題が多くなった。次に燃料電池車に関する記事が掲載されたのは、2007 年になってからである。

2007 年 9 月 15 日の日経によると『白金使わず燃料電池、ダイハツ、軽自動車搭載目指す、コバルトやニッケル利用、低コスト技術、環境車需要で希少金属高騰、日産・ホンダも技術開発競う』

2007 年 10 月 12 日の日経によると『燃料電池車、国際基準 10 年までに、国連部会で各国合意、日本案軸に作成』

2008 年 8 月 9 日の日経によると『燃料電池車、より安く、九大が基礎技術開発、触媒にニッケル使う』

2009 年 3 月 9 日の日経によると『東北大学 水素吸着の炭素物質、日産と燃料電池に利用へ』と言ったように燃料電池車の各部分の改良に関する記事が目につく。

そして当初、政府が目標としていた 2010 年度までに 5 万台普及の実現は不可能となった。2009 年 6 月 27 日の読売によると『「燃料電池車普及策 効果なし、197 億円投入も台数は減少」総務省は 26 日、総務、経済産業、国土交通、環境の 4 省に対し、燃料電池自動車普及策の改善を勧告した。政府として 2004～2007 年度に総額約 197 億円を投入したが、2003 年度末に 49 台だった全国の普及台数は 2007 年度末で 42 台と全く効果が上がっていないことを指摘した。燃料電池自動車は、水素と酸素を反応させてつくった電気です走る車だ。走行時に二酸化炭素を排出しないことなどから、「次世代低公害車の本命」とされる。政府は 10 年度の時点で 5 万台普及を目標に掲げており、4 省は基本的な研究開発や水素充填設備の実証試験、政府調達などに予算を投入してきた。』

#### 【燃料電池車の実用段階】

この政府の改善勧告から 1 年後にトヨタが具体的な発売年度と価格を発表した。2010 年 6 月 16 日の読売によると『「燃料電池車 500 万円前後、トヨタ、コスト 1 億円から圧縮」トヨタ自動車は 15 日、2015 年に本格販売を目指している燃料電池車の製造コストが、500 万円前後になる見通しを明らかにした。普及促進のため、販売価格は製造コストに近い水準に抑えることを検討している。2000 年代初頭は、製造コストが 1 台 1 億円以上とされたが、技術革新で大幅なコスト削減にメドをつけ、高級車並みの価格での販売を目指す。燃料電池車は、二酸化炭素を全く排出しない「究極のエコカー」と言われているが、現在は製造コストが極端に高く、普及の壁となっていた。トヨタは、燃料の水素と酸素を反応させて

電気を作り出す燃料電池に使われるプラチナなど貴金属の使用量や部品点数を減らすことに成功し、価格低下に道筋をつけたという。燃料電池車は、ホンダや米ゼネラル・モーターズ（GM）、独ダイムラーなども開発に力を入れている。500万円程度の価格が実現すれば、普及に一気に弾みが付く可能性もあり、各社の戦略にも大きな影響を与えそうだ。』

2012年6月30日の日経によると『「燃料電池車で先行狙う、BMWと提携拡大、トヨタ、ハイブリッドと並ぶ柱に、世界で陣営構築」トヨタ自動車とBMWが29日、長期的な協力関係の構築で合意した。トヨタがハイブリッド車（HV）に加え、燃料電池車の技術まで含めて包括的に手を組むのは初めて。次の市場となる燃料電池で先手を打つことになる。環境技術では日産自動車や独ダイムラーなども他社との技術連携を積極的に進めており、自動車大手を巡る陣営作りの動きが激しくなる。

トヨタが広範囲に手を組むのは、先進国を中心に環境規制の強化でエコカーが市場の中心になってきたことが背景にある。最新のエコカーの研究開発費は数千億円規模に膨らみ、負担は高い。トヨタは15年以降のエコカーについて、多目的スポーツ車（SUV）やバス、トラックなどの大型車は燃料電池、プリウスに代表される中小型の乗用車はHV、2〜4人乗りの近距離移動用は電気自動車（EV）と、車の大きさを駆動方式に分ける戦略をとる。日米欧の3極で普及を進めれば、シェア拡大やコスト競争力の強化に弾みがつく。』

2013年1月23日の日経では『技術の供与を正式合意。トヨタが15年に一般販売を目指す燃料電池車の関連技術を供与、BMWは20年にも市販車を投入する計画。』

2013年3月20日の日経では『燃料電池車が変わる、1億円の車、今や500万円』

2013年4月5日の読売によると『トヨタは2015年に年700台を目標に一般販売を開始する』と発表している。

2013年6月23日の日経によると『この車の安全基準に日本の案が採用されることが国連分会で決まった。』

2013年7月2日の日経によると『ホンダがGMと連携、独自路線を転換した。』

さらに、2014年1月27日の読売によると『トヨタ、本社工場で6日、燃料電池の生産ラインが動き始めた。部品にほこりなどが混入すると発電能力を損なうため、生産ラインは巨大なクリーンルームの中に設置した。生産現場では半導体工場に並ぶ徹底した管理が求められる。トヨタは当面、燃料電池車を1日1台のペースで生産する。生産効率を見極めながら今夏に試作車の量産体制を本格的に開始し、12月には年間1000台の生産体制を築く計画。燃料電池車の普及には、燃料電池システムの小型・軽量化と、コスト削減が壁になっていた。10年前に1台1億円とされた価格は、技術開発によって1000万円を下回る水準に下がった。ホンダも、燃料電池車を2015年に一般向けに発売する予定。20年を目標に、より安価で小型の燃料電池を開発するため、米GMとの共同開発を進めており、トヨタに対抗する考え。

政府は燃料電池車とEVの両にらみで普及を目指す構えで、設備を作る商業施設などへの支援を継続する。現在進めているEV向けの充電機器や工事費への一部補助に加え、燃料電

池車に水素を供給する「水素ステーション」を15年度中に全国100か所に整備する計画。EV向けの充電設備も全5000か所以上に増えたが、マンションの駐車場などでの設置は進んでいない。最初から作る必要がある水素ステーションは「整備に手間がかかる（カルロスゴーン）」との声もある。ガソリンスタンド並みのネットワークを全国に張り巡らすのは容易ではない。水素ステーションや充電設備の整備がどこまで進むかも、自動車メーカーのエコカー戦略の成否を左右する。』

2014年5月29日の日経によると『経産省は、5月中に燃料タンクの規制を緩め、1回の充填で走る距離を今よりも2割長くする。2016年には、安全審査を国際基準にそろえ、日本製の燃料電池車を海外へ輸出しやすくする。規制緩和を受け、トヨタは速ければ年内にも車両の市販に乗り出す。1回で充填できる水素の圧力を700気圧から875気圧に高める。』

2014年6月19日の日経によると『政府は水素を燃料とする車や家庭用電池の普及に向けた工程表を策定。2015年の燃料電池車購入時の補助金を導入。500万～1千万円とみられる販売価格に対し、1台あたり200万～300万円の補助金を出す検討に入った。30年代には水素を活用した発電所の実用化をめざす。地球温暖化ガスを排出しない水素を新しいエネルギー源と位置づけ、関連産業の拡大を急ぐ。』

政府は、25年までにハイブリッド車並みの1台200万円台まで引き下げたい考え。量産によるコスト削減。販売先行の家庭用燃料電池は、15年度まで40万円前後の購入補助金を続行。輸出による販売増も見込み、20年に現行価格の半分の70万～80万円、30年には3分の1の50万～60万円まで下げることが目標とする。』

2014年6月26日の日経によると『トヨタは 年度内発売へ、700万円、補助金で負担減も。』

2014年7月19日の日経によると『燃料電池車「200万円補助」首相、普及へ支援表明』

2014年9月6日の日経によると『燃料電池車、名は「ミライ」』

2014年9月7日の読売によると『2020年東京五輪、水素活用、基本計画に、燃料電池車で選手送迎』

2014年12月6日の日経によると『「燃料電池車、増産へ200億円、トヨタ、国内2工場に、生産能力3倍、VWは20年にも投入』

トヨタはFCVミライの年産能力を2015年度末に現在の3倍に引き上げる。国内2工場に200億円程度投資する。国内の引き合いが強いほか、米国などへの輸出に充てるため、増産体制を早期に整える。VWも20年にも日米欧で投入する。世界2強の増産や参入でFCVの普及期が早まりそうだ。』

2014年12月16日の日経によると『「ミライ」販促 静かな出足、「トヨタ燃料電池車、少量生産、納車、1～2年待ちも」トヨタ自動車は15日、燃料電池車（FCV）「MIRAI（ミライ）」を発売した。当初は年産台数が限られるため販売店に実車はなく、納車まで1～2年待ちと案内する店もある。世界初の市販車として注目を集めるが、燃料の水素を補給する水素ステーションの整備などの課題も多く、「究極のエコカー」といわれるFCVの商戦は静

かに幕を開けた。

トヨタは今月から年間 700 台の予定で生産を始めた。2015 年末までの国内の販売目標は約 400 台だが、企業や官公庁の注文が予想以上に多く、販売店によると受注台数は約 1 千台にのぼる。トヨタは 15 年末に増産することを決めたが、納車されてもガソリン車と同じ感覚で乗り回れるわけではない。商用の水素ステーションは兵庫県尼崎市と福岡県北九州市の 2 か所、補助金で整備が決まっているステーションは 43 か所。約 3 万 5 千のガソリンスタンドと比べ、脆弱。ミライの価格は 723 万 6 千円。』

2015 年 1 月 7 日の読売によると『トヨタ異例の無償提供、燃料電池車特許、普及へ他社参入促す。世界で保有する特許約 5680 件を全て無償提供する。無償提供の期限は、20 年までの予定。水素ステーション関係は無期限。』

2015 年 6 月 23 日の読売によると『最長 750 キロ走行、燃料電池車、ホンダが来春発売に、トヨタ、ミライを 100 キロ上回る。2016 年 3 月に発売、価格は 720 万円でミライとほぼ同額。』

今後の展開としては、2020 年が 1 つの契機となる。東京オリンピックをきっかけとした海外へのアピールにより、燃料電池車の引き合いが広まる可能性が高い。日本では、大衆車（200 万円台）に燃料電池を搭載するようになれば、水素ステーションが整備され、大幅に普及が進むと考える。

## 【水素の貯蔵・運搬・インフラ】

### 水素ステーション

水素ステーション設置に関する取り組みは、トヨタが先導している。水素ステーションの話題が初めて目に留まったのは、2008 年 7 月 5 日の日経の記事で『燃料電池実用化推進協議会が 2010 年までに標準仕様を決める』と発表したものである。

その後、2012 年 5 月 11 日の日経によると『トヨタ自動車が、米カリフォルニア州で燃料電池車用の水素ステーションの稼働を始めた』と発表した。遠隔地で生成した水素をパイプ経由で供給する「パイプライン型」としては全米初である。

2013 年 4 月 20 日の日経によると『JX エネが初の併設スタンド（水素とガソリン）との情報。』

2014 年 1 月 15 日の日経の記事で下記のように、本格的な整備計画の情報が掲載されている。『ガソリンスタンド最大手の JX ホールディングは燃料電池車向けに低コストの水素供給に乗り出す。水素を安全で大量に輸送できる技術を開発。2020 年をメドに新技術を使った供給網を整備する。供給コストを 3 割程度削減、ガソリン並みに利用できる価格実現を目指す。石油元売り最大手の同社が水素の低価格化に動くことで、燃料電池車の普及に弾みがつきそうだ。』

政府も 15 年度までにガソリンスタンドに相当する水素ステーションを国内 100 か所に整備する計画。ただ、同じ走行距離に換算した価格がガソリンの 2 倍以上とされるコストの

高さ、1か所当り3億～5億円かかる水素ステーションの建設費の高さが普及の課題になっていた。

グループの中核のJX日鉱日石エネルギーが製油所で自社生産している水素をトルエンに溶かして液体化、常温・常圧の状態ですトレーラーで水素ステーションに運ぶ技術を開発した。車に充填する時点で、独自開発した触媒を使って気体に戻す。現在は気体の水素を高圧で圧縮して専用トレーラーで輸送、貯蔵している。液化すれば高強度の炭素繊維製ボンベや爆発を防ぐ設備なども不要になり、ガソリン用のトレーラーやタンクを転用できる。ステーション建設費は2億円と現行よりほぼ半減する。液化で体積を小さくして輸送量も2倍に増やせる。現状の水素の生産・流通コストは1立方メートル当たり、145円。今回開発した低コストの水素供給体制が整うと、燃料電池車の普及の目安とされる同100円以下が実現する。ステーション整備などで水素の生産量を増やすことでさらにコストを引き下げ、同じ走行距離でガソリン並みとなる同約60円に近づける計画。JXは国内の約3分の1に相当する1万1100店の系列ガソリンスタンドを持つ。すでに神奈川県海老名市など5か所に水素ステーションを開設。15年度までに40か所に増やす計画。この段階では従来技術を使うが、燃料電池車が普及期に入るとみられる20年から液体輸送を実用化。一気に供給網を広げる方針。燃料電池車は1回の燃料充てんで走れる走行距離はガソリン車並みだが15年時点の車両価格は500万円前後の見込み。水素供給量が増え価格が下がれば車両の需要が増え車両価格の一段の引き下げにつながる好循環が期待できる。トルエンで水素を液化する技術は千代田化工建設も開発を進めており、関連インフラの技術開発でも日本勢が世界をリードしている。』

2014年4月9日の日経によると『岩谷産業は周南市に液化水素ステーションを開設する。同社とトクヤマは昨年、トクヤマの徳山製造所に液化水素工場を完成させた。同工場で生産した液化水素をステーションに運び、再び気体に戻して燃料電池車の燃料として供給する。2015年春に運用開始。』

2014年5月24日の日経によると『トヨタが2015年にトレーラーに水素タンクを積んだ移動型ステーションをまず5基、自前で用意すると発表。』

2014年7月6日の日経によると『JXが水素ステーション100か所、政府、補助金で普及後押し、18年度めど発表。』

2014年12月10日日経によると『水素スタンド設置費半減」燃料電池車 普及へ規制緩和、セブン、コンビニ併設20店、政府は燃料を供給する水素ステーションの規制緩和に乗り出す。建築基準や保安規制の緩和で設置コストを半減する。エネルギー各社などの設置計画を後押しし、2015年度中に全国100か所の整備を目指す。セブンイレブンも来年度から水素ステーションを併設したコンビニを出す。高圧ガス保安法や建築基準法の関連12省令を14～15年度中に見直す。タンクに貯められる水素を増やせるように、水素の圧縮率を高め、現在は燃料電池車7台分しかためられない1か所あたりの水素の貯蔵量の上限もなくす。より多くの客を受け入れられ、採算がとりやすくなる。水素をタンクに貯める際に

圧力をかける圧縮器の保安検査も簡素化する。安全を考慮し水素の充填機と公道との距離は現在 8 メートル以上が原則だが 4 メートル以上にする案が有力。太陽光発電で発電した電力を使い、その場で水から水素を生成して充填する簡易版ステーションの建設も許可する。水素ステーションの建設費は 1 か所あたり 4 億～5 億円と、欧米の 2 倍の水準だが、規制緩和によって 20 年ごろに半減を目指す。一般のガソリンスタンドの建設費（1 億円）の 2 倍程度で済むようにする。規制緩和は水素ステーション建設を加速させそうだ。セブンイレブンは岩谷産業と組み、水素ステーションを併設したコンビニを出店する。まず、15 年秋にも東京都と愛知県の 2 か所で新規開業し、17 年度までに 20 店に広げる。水素ステーションの設置費用は岩谷産業が負担し、同社が運営する。コンビニは 24 時間営業し、水素ステーションは平日の日中に営業する。岩谷産業はセブンの持つ不動産情報や店舗開発ノウハウを活用して立地条件の良い土地を効率よく探す。交通量の多い郊外の幹線道路沿いを中心に開店する予定だ。JX エネルギーは 15 年度末までに全国 40 か所、岩谷産業は 20 か所の設置を計画しているが、公道から 8 メートル離すなどの規制を満たす土地を探すのは難しい。「特に都市部で用地選定が難航している」（JX）という。建設条件の緩和でコストを抑制し適地を見つけやすくなり、計画を前倒しで達成できる可能性がある。燃料電池車はトヨタが 15 日にミライを発売し、15 年度中にはホンダも商品化する予定。普及には水素インフラの整備が欠かせないため、経済産業省は規制緩和に加えて来年度予算で建設費の 3 分の 2 程度を補助する予算 110 億円を要求している。』

2014 年 12 月 19 日の日経によると『「自由化」航海、東ガスに荒波、水素スタンド、新収益源に、首都圏草刈り場、強敵続々。2～3 年後に迫った電力・ガス小売りの全面自由化をにらみ、東京ガスが収益力の再構築を進めている。16 日には関東地方で初となる水素ステーションを開業。電気販売では 2020 年に首都圏需要の 1 割を担うと宣言する。ただ、有望市場である首都圏にライバル社が殺到するのは必至で、自由化は東京ガスにとっても荒波となる。矢継ぎ早の戦略は強い危機感の表れだ。「水素社会の実現に大きな期待と関心を持っている」。東京ガスの求仁副社長は 18 日、一般向け水素ステーションの開所式で力説。』

2014 年 12 月 22 日の日経によると『JX、全国で水素供給、2000 スタンドに導入、低コストで生産・輸送。JX 日鉱日石エネルギーは燃料電池車（FCV）の燃料となる水素を全国に供給する体制を整える。2020 年をめどに国内 10 拠点で水素を生産し、より低コストで運ぶ技術も確立する。販売面では幹線道路沿いにある主要な約 2000 店を対象に順次水素スタンドを導入する。全国規模の供給体制が整うことで、課題とされる地方での水素スタンドの新設に弾みが付きそうだ。』

JX は 12 月下旬に第 1 号の水素スタンドを海老名市の給油所内に開く。首都圏を中心に 15 年度末までに 40 か所を整備する計画。今後、FCV の普及動向をにらみながら水素の貯蔵タンクや充填機などが設置可能な約 2 千店を対象に順次、水素スタンドの併設を進めていく。製造・輸送では新技術の導入でコストを現行の半分以下に抑える。18 年度をめどに低コストで水素を製造する技術を開発する。国内の全 7 製油所を含む 10 拠点に順次導入し、

北海道から九州まで全国に供給できるようにする。

現在、水素は石油や天然ガスなどから取り出すほか、鉄鋼や化学品の製造過程で出る排ガスの中に多く含まれる。排ガスからは触媒などを使って不純物を分離し、水素を取り出している。新技術では特殊な膜で不純物を効率的に取り除き、水素の回収率を現行の約 7 割から 9 割近くに高める。水素を液体で運ぶ新技術も実用化する。高圧で圧縮し、ガス状で運ぶ現行方式に比べタンクローリー1 台あたり 2.5 倍の量を運べる。液状にするとガソリンや軽油を運ぶ既存のタンクローリーや内航船を活用できるため、輸送のための投資も減らせる。燃料を供給する水素スタンドは JX エネのほか岩谷産業なども設置を進めている。現状では 100 か所程度が建設・計画されている。兵庫県尼崎市と北九州市に水素スタンドを設けている岩谷産業は水素 1 キログラム当たり 100 円で販売。1 キロメートル走るのに 10 円かかる。計算で、高級セダンベースのハイブリッド車とほぼ同等になる。このため、政府は水素スタンドの規制緩和で設置費用、20 年をめどに半減させる方針を打ち出し、FCV の普及を後押しする。』

2014 年 12 月 26 日の日経によると『水素スタンド、導入費半減、太陽日酸、移動式で GS 並み。2016~17 年を目処にガソリンスタンドに近い 1 億円台に引き下げる。25 年までに 300 台程度をスタンド運営業者に供給。』

2015 年 3 月 11 日の日経によると『「水素スタンド審査迅速に、燃料電池車普及促す、経産省、1 カ月から半月に短縮」安全審査を緩和。国が認めたメーカーは、従来は約 1 カ月だった都道府県による審査期間を半月に縮める。低コストの小型スタンドの設置も促し、2015 年度中に 100 か所の整備を目指す。4 月以降に高圧ガス保全法の制度を改正してメーカーを認定する。まず、小型の水素スタンドの設置を促す（1 億円前後）。小型には安全基準がないのがネックとなっており、経産省は 15 年度中に基準を作る。ホンダと岩谷産業は太陽光発電などで水を電気分解して水素を取り出す小型スタンドを開発済み。』

2015 年 4 月 1 日の日経によると『水素供給は赤字覚悟、燃料電池車、HV 並み費用に。燃料電池車の普及を目指して水素ステーションが各地に設置され始めた。政府は 2015 年度に全国で 100 か所の設置を目指す。水素の供給事業者は価格をかなり抑え、赤字覚悟で市場の拡大に臨む。3 月末、東京タワーの近くに水素ステーションが完成した。店頭の水素価格は 1kg1100 円。運営する岩谷産業は現在、国内で 2 か所を運用中。支社長は「原料費などの」コストを積み上げて店頭価格を計算しているわけではないと明かす。練馬区で水素ステーションを運営する東京ガスも、同 1100 円。海老名市など約 10 か所に置く JX 日鉱日石エネルギーは 1000 円で、少し安い。各社は今回、水素の価格を決める際に FCV が現行のハイブリッド車と同等の燃費になるよう逆算して設定している。「ミライ」と同格の中型ハイブリッド車の燃費を 1ℓ当たり約 19 km と想定。14 年 12 月のガソリン価格（138 円）から 1 km 走るのにかかる燃料費を算出すると同 7.3 円になる。ミライは 1kg の水素で 151 km 走るため、7.3 円と 151 km を掛けた約 1100 円を目処とした。政府が策定する工程表は燃料費をハイブリッド車と同等水準まで引き下げる時期を 20 年ごろとしている。現状の店頭価格は

予定を 5 年前倒しで実行している計算になる。「各社は相当な努力をしている」（エネルギー庁）。資源エネルギー庁が作成した資料は「将来的に FCV が普及した場合の見通し」を前提として水素の店頭価格の内訳を説明する。ステーションの建設、運営に関わる費用が全体の 62%、輸送費などを含んだ水素自体のコストが 38%。』

2015 年 6 月 17 日の日経によると『水素スタンド、セルフ式も、経産省方針 普及へ規制緩和。利用者が自分で水素を入れる「セルフ式スタンド」を解禁するほか、狭い土地でも建設を進められるよう、省令や保安規制を改正する。』

#### 【水素の貯蔵・運搬】

NEDOエネルギー白書2014によると「水素は体積当たりのエネルギー密度が低く（天然ガスの1/3 程度）、これをどのような手段で高い密度に維持しつつ、輸送・貯蔵するかが課題となる。これに加え、水素の製造方法や利用方法、供給地と需要地の距離等によって、様々な方法が考えられる。輸送分野では、すでに高压ガス輸送、液化水素輸送が実用化されており、これに加えて新規の技術として有機ハイドライド輸送が実証されている。長期的には、国内でもエリアによっては水素パイプラインが施設されることも考えられる。水素貯蔵技術のうちでも、燃料電池自動車のようなスペースに制限のある用途に対しては、体積エネルギー密度が高い水素吸蔵合金の活用も期待されるが、現状ではまだ研究開発段階であり、一層の低コスト化が必要とされている。

なお我が国は、将来において水素発電事業などの用途で大量の水素需要が生じることも想定されるため、有機ハイドライド技術や液化水素技術を用いた世界的な水素供給チェーンの構築・実用化が期待されている（図2参照）。経産省の水素・燃料電池戦略ロードマップでは、このような水素供給チェーンの実用化（海外の未利用エネルギー由来水素や再生可能エネルギー由来水素の輸送・貯蔵）の本格化は2030年頃とされているが、同時に我が国におけるLNG導入の歴史を考えると、要素技術の確立から導入までに15 年程度の準備期間を要したため、水素の輸入においても今から必要な取組に着手することを必要としている。将来的に水素ステーションへの輸送・貯蔵が想定される高压ガス、液化水素、有機ハイドライドと比較すると、高压ガスに比べて液化水素や有機ハイドライドが貯蔵性に優れている。他方で、液化水素の水素への変換までを含めた総合的なエネルギー効率は現時点では高いものではなく、有機ハイドライドについても、現段階で小型の脱水素装置が実用化していないため、将来に向けて技術開発等を行っていく必要がある。」

水素の貯蔵・運搬に関する情報としては、2002 年 7 月 21 日の日経によると『新日本石油（旧日石三菱）が、水素を有機物質に結び付け、持ち運びや貯蔵をしやすくする世界初の技術の開発に取り掛かることを明らかにした。2010 年までに基礎技術を確立し、2020 年の実用化を目指す。ガソリンなどから水素を取り出すこれまでの方式は、化学反応の過程で地球温暖化の原因となる二酸化炭素が出る欠点があったが、新技術が実用化されれば二酸化炭素の排出を抑えることができ、燃料電池の普及を大きく後押しすることが期待される。新日石が開発するのは、必要に応じて水素を結び付けたり、切り離したりして水素の「運

搬役」となる特殊な有機物質だ。この技術が確立すれば、例えば赤道直下で太陽光発電を行って水素を作り、「運搬役」に結び付けて日本に持ち込むといったことも可能になる。そのため、エネルギーの安定供給にもつながる。』

しかし、この情報については、その後、続報は掲載されていない。ようやく 2013 年 1 月 26 日の日経で次のように取り上げられている。『「水素大量にためる合金、燃料電池車の普及後押し、神鋼・筑波大、タンク向けに開発」神鋼は筑波大学と大量の水素を効率的にためられる合金を開発した。温度設定を変えるだけで水素を大量に吸収したり、放出したりする働きを持つ。水素はクリーンなエネルギー源として注目されているが、爆発の危険性があるため安全な貯蔵方法が課題だった。合金を貯蔵タンクとして使えば、通常の金属材料に比べて 3~4 倍の水素をためられる。

主に、次世代エコカーとして期待される燃料電池車 (FCV) の水素燃料の貯蔵用に 2015 年の商品化を目指す。開発したのは鉄とチタンジルコニウム、マンガン、クロムを混ぜた合金。配合比率を工夫することなどで水素の吸収性能を高めた。合金を摂氏 20 度以下にすると水素を吸収し、80℃以上に加熱すると放出する仕組み。水素タンクの内部に使えば貯蔵量を増やせる。水素は酸素と反応させるとことで電気を発生する。電気発生時に排出するのは水だけなためクリーンエネルギーとして期待されている。ただ気体のため大きな貯蔵施設が必要。いまは高圧で体積を圧縮しタンクに蓄える方法が一般的だが、専用装置が必要でコストが高い。新合金のタンクは通常気圧で使えるためコストを抑えられる。最近普及が進んでいる家庭用の燃料電池に続いて、これからは工場や事業所などで使う大型の燃料電池や、燃料電池車の普及も見込まれる。燃料として使う水素の貯蔵タンクの開発が進めば普及を後押ししそうだ。』

2013 年 6 月 2 日の日経によると『水素発電所、実用化へ、千代田化工、燃料安く生産。千代田化工建設は水素発電所の実用化に必要な技術を開発した。燃料の水素を低コストで供給できるようになる。国内外の企業と設備の商談に入っており、2~3 年で世界初の水素発電所が稼働する可能性がある。水素発電は、二酸化炭素を発生しないうえ、国内で燃料を自給できる。輸入の化石燃料に頼る日本にとって重要な電源になりそうだ。

千代田化工建設によると、水素だけを燃料とする商用の発電設備は実用化されていない。発電用ガスタービンで水素を燃焼させられるが、燃料で使うには一定量を常にマイナス 253℃以下と言う極低温で液化するなどして貯蔵する必要があり、巨額の費用がかかる。同社は液化した水素を常温で貯蔵・輸送し、その後に効率的に抽出できる設備を開発した。水素は製油所や石油化学プラントなどで大量に発生するために容易に確保できる。同社の設備は出力 10 万キロワット程度の小規模な発電所に水素燃料を供給できる能力がある。価格は 100 億円規模とみられる。国内外の石油や電力などエネルギー関連会社と商談している。石化プラントなどに千代田化工の設備と、ガスタービンを導入すれば水素発電を始められる。千代田化工は装置販売のほか、燃料の供給事業も手掛ける。水素は有機化合物のトルエンと混合すれば、常温で貯蔵可能な液体になるが、そこから水素だけを取り出すこ

とが難しかった。千代田化工の新設備では98%以上の高効率で取り出せる。プラチナを細かく砕いた「ナノ粒子」と呼ばれる独自開発の触媒を使う。今後、設備の大型化や低コスト化に取り組み、現在はガス火力よりも高い発電コストの抑制を急ぐ。』

2013年9月28日の日経によると『川重、水素輸入へ専用船、豪から17年にも、国内より5割安』

2013年9月30日の日経によると『世界初の大型水素基地、千代田化工、燃料電池車向け、1日に4万台分、コスト3割安』

2013年11月18日の日経によると『千代田化工建設が画期的な輸送・保管の技術革新を成し遂げたことが大きい。千代田化工建設は画期的な技術を世界に先駆けて開発した。川崎市内では世界初となる水素基地の建設計画も進めており、水素社会の到来が現実味を帯びてきた。

液体から抽出；無色透明な液体、一見普通の水と変わらない、メチルシクロヘキサンは「修正液にも使われている溶剤」。この液体から水素を取り出せば、体積で約500倍になる。水素は、酸素と反応させて電気や熱を生み出し、天然ガスに混ぜて燃やすことができる。ただ体積がかさばるので運搬するには容積を小さくしなくてはならない。このため、水素をトルエンと化学反応させて液体にするのだが、この技術は既に確立されていた。だが、逆に、液体から水素を取り出す技術がなかったため商用化できなかった。

同社は2002年からその技術開発に着手。10年には、酸化アルミニウムの上に微細な白金の粒子を分散させた触媒を使って、液体から再び水素を取り出す技術を開発した。水素の保管は、マイナス253℃の極低温で液化したり、高压でボンベに詰めたりするのが一般的だ。新技術を使えば化学反応させた液体を常温・常圧で保管できる。「難しい管理は必要なく、既存のタンカーや石油タンクも転用できる。水素はエネルギーの世界地図を変える可能性を秘めている」。

エネルギー自給国に；同社は、3段階で水素生産の戦略を練っている。第1段階は、中東や東南アジアなどの天然ガス産出国で水素を作り、これをトルエンと化学反応させて液体にし、タンカーで日本に運ぶ。水素を作る過程で発生した二酸化炭素は、地中深いガス田に貯留し、大気への排出を防ぐ。こうした国々と商談を進めるには、液体にしてそこから水素を取り出す技術を見せる必要がある。同社の敷地には、鉄骨や配管に囲まれた3階建てのビルくらいの実証プラントが設置されている。今年4月から運転を続け、既に十数か国の政府関係者らが視察に訪れたという。

第2段階は20年ごろの開始を目指し、再生可能エネルギーの電力で水を分離して水素を作る。この方法では、夜間に余る風力発電の電力などを活用でき、再生エネルギーの不安定な発電で送電線に負担をかけることもない。石原環境相も10月29日の閣議後の記者会見で「洋上風力発電の余った電力を使って水素を作る実証実験を行う」と表明した。また、触媒で太陽光と水を反応させて水素を取り出す技術開発も進む。これが、第3段階で、海

外では40年ごろの導入が見込まれる。将来的には、使用済み核燃料の処分が課題の原子力発電や発電コストが高い再生エネに頼らず、日本はエネルギーを自給できる。

温室効果ガスも削減；水素社会の足掛かりとして、同社は16年春を目標に、川崎市内に世界から水素を運び込む基地を建設する。周囲のコンビナートに水素を供給し、数万キロワット級の水素を混ぜた火力発電所も併設する。燃料電池車に水素を充填する「水素ステーション」への供給も視野に入れる。川崎市スマートシティ戦略室は「世界初の水素基地は郊外で知られた街のイメージを新しくできる」と期待する。水素は温室効果ガス削減にも貢献する。東日本大震災前に作られた現行の「エネルギー基本計画」では、二酸化炭素を排出しない原子力発電所の比率を約5割、再生エネを約2割まで高めることになっていた。原発分を水素で補えば、二酸化炭素削減を維持しつつ、十分にエネルギーを確保できる。発電コストは将来的に1kw時あたり12～13円を目指す。「発電コストは既に太陽光や石油火力よりも安く、天然ガスとほぼ同等になる。水素の普及は日本にとって最善の策になる」。』

2014年2月28日の日経によると『水素貯蔵の特許競争力、トヨタやホンダ上位、世界ランク、燃料電池車に応用。燃やしても二酸化炭素を排出しない水素は、枯渇しない夢のエネルギー源。大規模な貯蔵や運搬の技術がないのが課題だったが、千代田化工建設はこの技術を世界に先駆けて開発した。川崎市内では世界初となる水素基地の建設計画も進めており、水素社会の到来が現実味を帯びてきた。』

2014年7月29日の日経によると『水素半値へ開発アクセル、燃料電池車用「ガソリンより安く」岩谷は圧縮機ない供給装置、千代田化工は低コストの常温輸送』

2014年8月3日の日経によると『水素タンク大容量に、川重、開発へ、燃料電池車5万台分』

2014年11月20日の日経によると『水素液化設備を開発、川重、大量輸送しやすく。川崎重工業は19日、水素を液化する設備を開発したと発表した。FCVの燃料などになる水素の体積を800分の1に縮小し、大量輸送しやすくする。2016年度に商品化し、水素を製造する石油化学や液化天然ガスプラントなどに供給する。日本メーカーが開発するのは初めて。兵庫県播磨町の同社工場内に実験設備を設けた。1日約5トンの水素を摂氏マイナス253度に冷やして液化できる。水素5トンはFCV1000台分の燃料に相当する。同等の能力で商品化するが、販売価格は未定。水素の製造拠点で液化設備を使って液化水素にすれば、FCVに燃料を供給する水素ステーションまで専用のタンクローリーで大量輸送できる。川重は専用の大量運搬船も開発中で、将来は海外で安価に作った水素を液化し、国内に大量輸送することも目指している。』

2015年1月16日の日経によると『東芝、水素を使い電力貯蔵、長期・大量保管しやすく、再生エネ事業者など向け。東芝は水素を使い電力を大量貯蔵するシステムを2020年にも実用化。水素を使う電気の貯蔵は既存の蓄電池に比べて長期間、大量保存しやすい。設置・運用費を半減できるし、再生可能エネルギーの発電事業者や自治体などによって蓄電方式

が広がりそうだ。エネルギー変換効率は8割に達する。揚水発電の7割を上回る。』

2015年1月27日の日経によると『水素値下げへ量産技術、千代田化工や川重、20年メド、燃料電池車HV並みコストに。千代田化工は天然ガスから水素を取り出す技術の開発を始めた。川重は低品位の石炭から水素を取り出すプラントの実用化でJパワーと協業。2020年を目処に実用化を目指す。水素スタンドの整備とともに、水素を安価に量産する技術を確立し、FCVの普及を後押しする。』

2015年6月10日の日経によると『水素、海外で生産・輸入へ、川重など、運搬などで実証事業。川重や千代田化工建設などは9日、低品質のために使われていない海外の資源から水素を安価に製造して日本に運び、発電などに使うことを想定した実証事業を始めることを発表した。使用時に二酸化炭素を出さない水素の大量製造と長距離輸送を可能にし、普及を後押しする。事業は新エネルギー・産業技術総合開発機構の助成を受けて、2020年度までの6年計画で進める。川重、Jパワー、岩谷産業はオーストラリアの褐炭の石炭で水素を作り、液化して運搬する専用船の開発と実証を進める。千代田化工建設は石油精製プラントなどで副産物として出るガスから作った水素を化学処理し、常温で消費地に運ぶ技術を実証する。このほか、三菱重工などが天然ガスと水素を混ぜて発電する設備の開発を進める。』

水素を輸入する国内初の拠点づくりが始まった。2016年1月26日の日経によると『水素エネ普及へ拠点、川重・岩谷産業、液化し輸入、神戸港で。高圧・低温で液化した水素を特殊なタンカーで輸入して貯蔵し、国内各地に出荷する設備を神戸港に新設する。2020年度をメドに稼働させる計画。水素普及が加速しそうな20年代には不足する懸念があるため。輸入する水素は「褐炭」が豊富なオーストラリアで生産する案が有力』。

#### 【ガス発電への利用状況】

NEDOエネルギー白書2014によると「天然ガス火力発電において水素を混焼させることで発電時のCO<sub>2</sub>排出量を直接的に削減可能である。水素と他の燃料ガスと混合して発電（混焼発電）については実証が進められている。また水素のみで発電する専焼発電については世界的に事例が少なく、今後さらに検討が必要であるが、発電段階ではCO<sub>2</sub>を排出せず、水素の製造方法によっては、CO<sub>2</sub>フリーの電源となる。また、従来のガスタービンと同様に大規模化が可能であり、安定・安価かつ大量の水素供給と結びつけることで、大規模かつ安定的で低環境負荷な電源となる。水素発電の導入により恒需的かつ大規模な水素需要が生じるため、水素価格の低下や燃料電池自動車など他の水素利活用分野においても波及効果が期待される。」。

2013年10月24日の日経によると『世界初の水素発電所、石炭火力並みコスト視野』

2014年2月16日の日経によると『「川崎重工業が水素発電設備、工場向け、世界初の量産、17年メド」川崎重工業は2017年をメドに、水素を燃料とする火力発電設備を開発、世界に先駆けて販売する。水素は燃やしても二酸化炭素を排出しないほか、長期的に発電コストが天然ガス並みに下がるとされる。川重は工場など自家発電に使う中小設備を日本の

他、温暖化ガスの削減を急ぐ欧州などで売り込む。三菱重工業など発電設備世界大手も開発を急いでおり、水素発電は新たな電源として 20 年以降に普及しそうだ。川重は火力発電の中核設備であるガスタービンの大手。水素燃料を 100%使うタービンを世界で初めて実用化する。標準家庭で 2000 世帯分を賄える出力 7000 キロワット級など中小型機を明石工場で量産する計画。価格は未定だが、従来の設備と比べ 1~2 割程度高い水準に設定する見通し。水素はガスに比べて熱量が大きいために 100%燃料として使う場合、タービン内の燃焼温度が非常に高くなり故障の原因となる。川重は専用の冷却装置を取り付け、タービン内部の設計も改良し耐久性を高めた。水素発電は燃料のコストの高さと安定調達が課題であった。ただ、トヨタ自動車などが水素を燃料とする量販タイプの燃料電池車を相次ぎ投入、20 年以降に先進国で普及する見通し。水素が大量生産されることで、燃料価格が現在の 3 分の 1 程度に下がり、発電コストも石炭やガスを使う火力発電に対抗できる可能性がある。』

2014 年 2 月 20 日の日経によると『ガス発電、環境・効率両立、川重、燃料の水素含有率を高める。川重は、2015 年度から、燃料の 6 割まで水素を投入できるガス発電設備を販売。水素をガス発電の燃料に使うと大気汚染につながるガスを多く出す。独自の燃焼方式を採用。天然ガスのみを燃料に使う場合と大気汚染ガスの発生量を同等に抑える。工場の自家発電などに売り込む。』

資源エネルギー庁の試算では、100 万キロワットの水素専焼の発電所で 1 年に使う水素は燃料電池車 223 万台分にあたる。発電での利用が進めば量産効果で、石炭や天然ガスより割高な水素価格を下げる道が見えてくる。

#### 【水素社会はいつ訪れるのか】？

水素社会はいつ訪れるのか？そのキーポイントは、現在の火力発電の主力である天然ガスによる発電を全面的に水素にいつ、置き換えるのかです。発電を全面的に水素で置き換えることにより、水素の生産コストは下がる。

二酸化炭素による温暖化が深刻化しており、少なくとも 2070 年代には化石燃料を電力に使うことはなくなる。この時点で発電は「原子力」「再生可能エネルギー」「水素」の 3 つに絞られる。日本のような火山国では「原子力発電」は不向きである。そうすると、「再生可能エネルギー」と「水素」のコラボレーションによる発電が有力になる。有力になるというよりも、必然的にそうなる。

問題は、水素利用の飛躍的拡大、家庭用燃料電池のエアコン並みの価格、燃料電池自動車のコスト低減が必要である。

## 9. 炭素繊維の現状と将来？

### 【炭素繊維とは】

アクリルを高温で熱処理して生産する軽量・高強度の産業用繊維。2007 年の世界需要は約 35000 トン。

樹脂と組み合わせた複合材料の「炭素繊維強化プラスチック」が航空機、自動車向けの部材として急速に普及すると予想され、炭素繊維の需要は12年には約7万トンに拡大する見通し。

炭素繊維にはコールタールなどを原料とする別タイプもある。価格が高く再資源化が難しい弱点はあったが、炭素繊維製の部品を低コスト化するための成型加工技術、リサイクル技術の開発が進み、本格普及期を迎えようとしている。

炭素繊維の生産量と耐用年数などから推計し、使用済み炭素繊維強化プラスチックの量は25年に4万トン近くになると予想される。

#### 【時間経過】

#### 2008年1月16日日経「東レ、炭素繊維で収益拡大、伝統事業の投資効率向上を」

炭素繊維は金属に比べて軽くて強いのが特徴。鉄と比べると4分の1の軽さで強さは10倍に達する。2006年の東レの世界シェアは34%とトップだ。

帝人子会社の東邦テナックスと三菱レイヨンの国内3社で世界の7割を占める。航空機に採用され、炭素繊維は一躍脚光を浴びた。

米ボーイング社が新型機「787」の主翼や胴体などに炭素繊維を採用し、東レは2006年、2021年までに約7000億円の供給契約を同社と締結した。

#### 2008年5月4日日経「再生炭素繊維を量産、東レ・帝人・三菱レイヨン、10年メド、3割安く、家電向け用途拡大」

東レ、帝人、三菱レイヨンの3社は2010年をメドに共同で再生炭素繊維の量産を始める。

まず3社の出資で運営会社を設立、航空機などから炭素繊維を回収して、新品より三割以上安い再生品を生産する。年間処理量は一千トンと世界最大規模。世界シェア七割を握る。

炭素繊維は航空機やゴルフクラブなどのスポーツ用品に使われているほか、自動車各社が車体の軽量化に役立つ素材として主要な部品などに採用することを検討している。

#### 2008年7月24日日経「炭素繊維車」を共同開発、東レ・日産など、4割軽量化、10年代半ば、素材を量産、コスト、鋼材並みに

東レや日産自動車、ホンダ、東京大学などは自動車向けの炭素繊維材料を共同開発する。

#### 2010.3.25 日経「炭素繊維、東レ、10～15%値上げ、1年8か月ぶり、航空機向けに回復」

#### 2010.4.28 日経「東レ、ダイムラーと開発、自動車用炭素繊維、軽量・高強度、ベンツ車体部材に」

東レと独ダイムラーは自動車用の炭素繊維材料を共同開発する。

#### 2010.5.10 日経「東レ、エアバスに納入、15年契約、2000億～3000億円見込む、炭素繊維で航空機材料、軽量化で燃費向上」

東レはエアバスに炭素繊維の機体材料を2011年から25年まで納入する。

#### 2010.5.31 日経「炭素繊維車」の材料開発、東大・東レなど、短時間で加工可能」

東京大学と東レ、三菱レイヨン、東洋紡、樹脂部品メーカーのタカギセイコーなどは共

同で、金属並みに加工が安易な自動車向けの炭素繊維材料を開発することに成功した。

#### **2010.6.29 日経「炭素繊維市場、離陸へ、帝人、「複合素材」の供給発表、航空機、車、省エネへ採用」**

帝人は28日、欧州航空機大手エアバスに炭素繊維複合材料を供給すると正式発表した。

#### **2010.7.8 日経「炭素繊維、増産投資を再開、三菱レイヨン、産業用への」**

三菱レイヨンは軽量で高強度の先端素材である炭素繊維を増産する。大竹事業所に新設備を建設、2011年春に稼働させる。年産能力を3割増に引き上げる。風力発電の羽根など成長が見込める産業用途の拡大を狙う。

#### **2011.1.13 日経「炭素繊維、生産効率10倍に、東レ、帝人、自動車部品への、5年後めどに技術確立、新製法で量産共同研究」**

東レ、帝人、東京大学などは2011年度から炭素繊維の新しい量産技術の開発に共同で乗り出す。5年以内をメドに現在の生産効率を10倍以上に引き上げる。

#### **2011.3.10 日経「炭素繊維10～15%値上げ、東レ、原油高で来月から」**

東レは炭素繊維の価格を国内外ともに4月出荷分から10～15%引き上げる。

#### **2011.8.22 日経「炭素繊維、世界へ「離陸」、航空50%採用機秋に就航、風力、脱原発で需要拡大」**

日本企業が高い競争力を誇る先端素材、炭素繊維が離陸の時を迎えた。機体に本格採用した米ボーイング社航空機が秋に就航、風力発電など環境分野でも世界的に市場が立ち上がってきた。

強度が高く軽量という同繊維の次のターゲットは自動車。大量に採用されれば収益への貢献も大きい。低コストの加工技術などの開発に挑んでいる。新型機「ボーイング787」では、胴体から主翼まで50%を占める。

軽量化により燃費が20%改善し、中型機でも日本から欧州まで直行便を飛ばせる。

#### **2011.9.10 日経「炭素繊維のEV試作、東レ、4割軽量化、15年以降に実用化を目指す」**

従来に比べて4割軽く、衝突に強いのが特徴。衝撃を吸収する部材も炭素繊維で作られ、鉄鋼に比べて2.5倍の吸収性を実現、安全性を高めた。

#### **2011.11.30 日経「帝人、量産車に炭素繊維、最速設備20億円で、来夏試験生産、15年採用を目指す」**

世界最速の1分で連続生産できる設備。15年以降に発売するエコカーへの搭載を目指す。今までは最速でも10分間程度かかり、コストも高かった。量産車の1台当たりの作業時間は1分が目安。

#### **2012.12.2 日経「車向け炭素繊維量産、帝人、米でGMに供給、量販車に採用、鉄と競合、300億円投資」**

#### **2013.1.31 日経「炭素繊維、分かれる戦略、日本勢、車市場で攻防、東レは高級路線を追求、帝人・三菱レイヨンは低コストで普及」**

航空機やプラント施設だけでなく、自動車やスポーツ用品にも市場が拡大する炭素繊維。

世界最大手の東レは高価格路線で「普及よりも高収益」を追求。一方で帝人や三菱レイオンは「低コストでの普及」で攻勢に動き出した。

**2014.12.30 日経 東レ、BMW に炭素繊維、車体用、生産増強へ 300 億円**

**2015.1.16 日経 炭素繊維が担う最先端、世界需要、20 年までに倍増に、航空機、燃料電池車に**

**日経 2016.6.17 車の鉄離れ化学に商機、日本の大手、欧州市場開拓、軽量化へ素材攻防、国内は壁高く、旭化成、独に拠点**

**日経 2016.8.17 東レ、宇宙船に炭素繊維、スペース X と基本合意、2000 億円超、軽量で高い耐久性、長期供給へ**

東レは米宇宙開発ベンチャーのスペース X と、ロケットや宇宙船の機体に使う炭素繊維を長期供給することで基本合意。

**日経 2017.1.10 炭素繊維工場を買収、三菱ケミカル、年 1000 トン規模、独社から、日本勢、競争備え積極投資**

**日経 2017.1.11 航空機に日本の新素材、米 GE 採用、軽量で燃費改善、SiC 繊維**

次世代航空機のエンジン基幹部品に日本発の新素材が採用される。軽量で高い耐熱性を持つ炭化ケイ素 (SiC) 繊維という材料で、GE が最新エンジンに導入、日本カーボンなど国内 2 社が供給する。

**日経 2017.1.18 東レ、1 兆円投資、来年度から 3 年で**

東レは、2017 年度から 3 年間で設備投資や M&A に約 1 兆円を投じる。16 年度までの 3 年間に比べ 8 割増となる。温暖化対策の国際的枠組み「パリ協定」の発効を受け、同社が世界シェア首位の炭素繊維の需要は急増する見通し。

**日経 2017.2.27 インフラ向け炭素繊維、積水化学が参入、用途拡大、複合樹脂、まず止水板**

積水化学工業は、炭素繊維事業に参入する。従来の半分のコストで樹脂との複合材をつくる技術を確立。

鉄を代替するインフラ資材として供給する。軽くて 1 人でも作業がしやすいため建設現場の人手不足解消にもつながる。

東レや帝人など大手の炭素繊維事業は航空機や発電用風車を中心だが、積水化学はつながりが深い建設・土木向けで商機を探る。炭素繊維の実用範囲が一段と広がる。

**日経 2018.2.10 東レ、再浮揚へ 2 つの翼、営業益 4~12 月 8%増、炭素繊維、航空機需要が回復**

## 10. 宇宙産業の将来性？

宇宙産業については、米国がスペースシャトル以後、民間企業で開発を促したことから、今までよりも格段に開発が進んでいる。もう一つ方向性として、軍事力の増強として宇宙開発の技術が使われていることである。

## 【時間経過】

2014.12.4 日経 欧州ロケット、費用半減、次世代型米ベンチャーに対抗、価格破壊、世界に波及、打ち上げ回数、欧米勢先行、中国も追い上げ、実績積む

2014.12.6 日経 米、新宇宙船打ち上げ、有人探査へ試験機、30年代、火星目指す計画、中開発、中印が台頭

2015.1.6 日経 米中、宇宙でも攻防、日本の安保に火種、中国、軍事衛星に攻撃の照準

宇宙でも、米中などによる軍の攻防が始まった。日本も蚊帳の外では済みそうもない。4万人精鋭集団

2015.1.10 日経 宇宙産業立て直し、基本計画決定、企業の投資促す

読売 2015.3.26 中国が衛星破壊実験、米、「宇宙の軍事利用に傾倒」、中国「迎撃技術の検証」主張

日経 2015.4.19 宇宙ビジネス、政府が点火役、安保など長期計画、法整備で民需拡大

日経 2015.4.20 無人機で月面着陸、JAXA、18年度にも打ち上げ

日経 2015.5.15 実は多い？生命が住める星、有機物＋水＋熱量、太陽系内は土星の衛星に海、太陽系外では「地球型」900個観測

日経 2015.5.21 「こうのとり」製造費半分に、文科省計画、2020年ごろ

日経 2015.6.9 衛星打ち上げ費用5分の1、三菱重工、数十基を逐次投入

日経 2015.6.10 火星の衛星探査計画、JAXA 22年にも、岩石など採取、有人飛行の技術確立も狙う

日経 2015.6.29 スペースXロケット爆発、ISS物資輸送船を搭載

日経 2015.8.7 16日打ち上げ、「こうのとり」宇宙へ水・食料、米ロ失敗で期待、国際ステーション支える

読売 2015.11.25 宇宙産業新たな一歩、H2A、高高度まで衛星運搬、コスト面まだ課題、中東・アジアに売り込みへ

日経 2016.3.24 KDDI、月面探査に挑戦、グーグル主催のレースに参画、宇宙産業拡大見据え

日経 2016.8.13 米ベンチャー宇宙探査着々、月や小惑星で資源開発、当局が承認、資金調達、1年で14倍

読売 2016.8.30 月面探査車、KDDIなど7社支援、日の丸技術結集

日経 2016.9.23 JAXA、ミニロケット打ち上げへ、「超小型衛星」利用にはずみ、大型と「相乗り」脱却、国際競争力向上も

日経 2016.12.2 キヤノン、ロケット参入、宇宙産業商機広がる、制御機器供給、HISとJAXA、宇宙船出資

日経 2016.12.16 相次ぐ探査計画、民間も、火星の素顔、見えてきた、水の存在、確実に、鉱物資源に期待

日経 2016.12.23 「宇宙活動法」ビジネス促す、ロケット打ち上げ、企業参入可能に、事

故補償手厚く、有人飛行は今後検討

読売 2017.1.9 超小型・安価な火星探査機、東大など開発へ、水や生命、電磁波で確認

日経 2017.2.11 JAXA 年内にも、対策にメド

JAXA はキャノン電子や IHI エアロスペースが参画するミニロケットを年内にも再度打ち上げる方針を決めた。

読売 2017.2.14 ロケット失敗、電線破損か、JAXA 「SS520」ショートし通信途絶

今年 1 月に JAXA の超小型ロケット「SS520」が打ち上げに失敗した原因について、JAXA は 13 日、通信機器と電源をつなぐ電線が破損し、ショートした可能性が高いとする調査結果を、文科省で開かれた会議で公表した。

日経 2017.2.20 再打ち上げへ体制強化、JAXA ミニロケット、技術者を増員

JAXA は、1 月に超小型衛星の初打ち上げに失敗したミニロケット「SS-520」の再打ち上げに向けて開発体制を強化する。

日経 2017.2.28 月へ旅行、来年中に、米スペース X、自動操縦、1 週間で往復

スペース X は 27 日、2018 年中に民間人 2 人を乗せて月の軌道を回る有人飛行を実施すると発表した。

日経 2017.3.8 ベゾス氏経営の宇宙 VB、初の打ち上げへ、スペース X と競争激化

米アマゾン・ドット・コム創業者のジェフ・ベゾス氏が経営する米宇宙ベンチャーのブルーオリジンは 7 日、仏衛星大手のユーテルサット・コミュニケーションズから初の衛星打ち上げ契約を獲得したと発表した。

読売 2017.3.12 エレベーター宇宙へ GO、総工費 10 兆円、2050 年完成？ケーブル強化、実現のカギ

「夏休みは家族で宇宙旅行に出かけてみようか」。そんな夢のような話が将来、実現するかもしれない。ロケットを使わずに宇宙へ向かう「宇宙エレベーター」。SF 小説やアニメで幾度も描かれてきた構想の実現に向けて、企業や研究者らの取り組みが続いている。

大林組は 2012 年、宇宙エレベーター建設という壮大な構想を発表。高度屋久 3 万 6000km の静止軌道に宇宙ホテルなどを備えた「静止軌道ステーション」を建設し、そこと地上との間をケーブルで結び、エレベーターで人や荷物を宇宙に送るといったものだ。

時速約 200 km でエレベーターを動かせば、地上から 1 週間でステーションに着く。総工費は 10 兆円で、完成時期の目標は 50 年とうたっている。

日経 2017.11.17 近づくロケット世界旅行、22 年にも NY-上海間 39 分に、再利用でコスト抑制カギ

読売 2017.12.3 中国、宇宙でも野望、2022 年に独自ステーション、軍事利用の加速、懸念も

日経 2018.1.25 宇宙開発、選択と集中の時、日本、米の有人月探査計画に便乗、限られた予算、技術乏しく

読売 2018.2.4 世界最小級ロケット成功、衛星軌道に投入

**日経 2018.2.8 宇宙ビジネス価格破壊、スペース X、最大ロケット成功、輸送量 2 倍、コスト 3 割**

**日経 2018.2.23 スペース X 衛星通信へ、試験機打ち上げ、1.2 万機配備計画**

スペース X は 22 日、人工衛星による地球規模の高速通信網を構築するための試験機を打ち上げた。最終的には約 1 万 2 千機の衛星を網の目のように張り巡らせる計画。地球上の多くのへき地で従来より低コストで高速通信を可能にすることを目指す。

**日経 2018.3.13 スペース X のマスク CEO、火星旅行「19 年前半にも」**

イーロン・マスクが CEO を務めるスペース X が「(火星向け) 宇宙船 1 号機を製造中で、2019 年前半には短期旅行ができるかもしれない」と語った。・・・マスク氏はかねて人類を火星に移住させることを目指しており、22 年に到達する計画を示していた。「19 年前半」は大幅な前倒しとなるが、11 日も「私の事業計画は常に少し (性急すぎる面がある)」と言葉を濁した。・・・

**2019.1.13 読売 人工流れ星、願いを込めて、宇宙ビジネス、世界中で**

日本の企業が宇宙を舞台に様々な事業を計画している。今月 17 日には、世界で初めて流れ星を人工的に再現する民間衛星の打ち上げる予定で、ほかにも宇宙に漂うゴミ (宇宙デブリ) を回収する衛星や月面探査機の開発も進んでいる。斬新なアイデアで日本の新たな宇宙開発時代が始まりそうだ。・・・

政府は 18 年 3 月、官民共同で 5 年で約 1000 億円を宇宙分野の新興企業に投資する目標を立て、すでに支援が始まっている。同年 11 月には宇宙活動法が全面施行され、人工衛星の打ち上げや発射場の新設が法的に裏付けられた。企業が打ち上げたロケットが落下事故を起こして周辺に被害が出た場合、政府が損害賠償を一部負担することも明記し、進出を後押しする。

米国では、NASA が民間に宇宙事業を積極的に発注し、低コストでロケットを打ち上げる「スペース X」などの新興企業が急成長した。米国で宇宙ビジネスが成功するにつれ、日本国内でも投資家や金融機関が宇宙分野に投資するようになり、小さな企業でも宇宙分野に参入しやすくなった。・・・国内では 20 社以上の新興企業が生まれた。宇宙開発に民間の活力や資金が投入されている。数年内に次々と新しい宇宙開発が実現していくだろう。

**【宇宙強国への道】**

**2018.8.31 読売 露、宇宙の軍拡加速、米中と競争激化、衛星打ち上げ、レーザー兵器配備、最新鋭 核兵器開発に力**

ロシアは、宇宙空間を対象にした軍備拡充を急ピッチ進めている。3 年前に「航空宇宙軍」を編成したほか、軍事衛星の打ち上げや衛星攻撃兵器の開発などに積極的に取り組んでいる。宇宙の軍事利用に力を入れる米国や中国との競争はさらに激化しそうだ。

ロシアは今年 4 月末時点で運用する軍事衛星は 83 基、米国の 166 基に次ぐ規模。各国が衛星打ち上げに関心を示すのは、敵の情報を収集するだけでなく、ミサイルを誘導したり、部隊間の通信をつかさどったりと軍事的に大きな役割を果たすためだ。ロシアは、衛星を

直接攻撃できるとされるレーザー兵器の配備も始めている。複数の核弾頭を搭載可能で、1発でフランス全土や米テキサス州を消滅させる威力をもつとされる大型大陸間弾道ミサイル (ICBM)「サルマート」は 2020 年からの配備を目指す。

### **2018.9.30 読売 中国、強国にらむ、衛星破壊、米が警戒**

中国軍に 2015 年末、「戦略支援部隊」が設置された。人工衛星を使った軍事作戦や敵国の衛星に対する妨害などを研究しているとされる。将来は、弾道ミサイル開発や研究分野が重なる戦略ミサイル部隊「ロケット軍」と統合し、独立した「宇宙軍」が発足するとの見方がある。

## **11. 農業の将来性？**

最近の話題としては、コメ作りに衛星を利用した分野が開発されつつある。例として、以下の記事を紹介する。

### **2018.5.27 読売 米作りに宇宙の目、多数の衛星連携、地上の変化観測**

人工衛星が撮影した地球の画像を、質、量ともに大幅にアップし、都市計画や農業などの幅広い分野で利用されつつある。複数の衛星が連携し合って地球を詳しくとらえ「衛星コンステレーション」という技術や、人工知能による画像分析が後押ししている。

「衛星コンステレーションは、衛星画像の新しい利用を生み出した」。航空宇宙に関する企業で作る一般社団法人・日本航空宇宙工業会の技術部長はそう強調する。「コンステレーション」は、星座を意味する英語。衛星コンステレーション」は、人工衛星を夜空に輝く星のように多数打ち上げ、同一地点の上空を次々と通るように運用する技術だ。地上の最新の姿を大量の画像で細かく観測しているほか、衛星を通じて地球上のどこからでも通信できるようになる。ここ数年で超小型衛星の打ち上げ数が飛躍的に伸び、注目されるようになった。衛星を開発する「アクセルスペース」は、この技術を都市計画に生かそうとしている。今年中に 100kg の超小型衛星「GRUS グルース」を 3 基打ち上げた。2022 年までに 50 基に増やす。ほぼ全陸域を 1 日 1 回、同じ時間に撮影できる体制を整えるという。「変わっていく地上の情報をデータベース化する。これは商品になる」。同社でビジネスを担当する池田グループ長は話す。例えば、都市部の「空き地探し」だ。駐車場の用地になる空き地は、関連業者の担当者が町を巡って地道に探している。多くの衛星画像で町の変化を AI に分析させれば、広範囲に好条件の空き地を素早く見つけ出せるようになるという。

伊藤忠商事など日本企業も出資する宇宙新興企業の米オービタル・インサイト社は、衛星コンステレーションで得た画像から石油の貯蔵量を推定し、データを投資から販売している。石油価格の予測分析などに使われている。同社は、石油タンクの屋根が貯蔵量に応じて上下し、タンク内側の影の大きさが変わる点に着目した。米プラネット社が運用する 175 基を超える超小型衛星などの画像で影を補足し、世界中のタンクの貯蔵量をはじき出している。

「来週が稲刈りに最適なのか。コンバインの整備を急がないと」青森県平川市で稲作を

営む工藤さんは、自宅でスマートフォンを見てつぶやいて。画面には、県がブランド化を進めるコメ「青天の霹靂」の水田を赤、緑などに色付けした画像が映し出されている。赤は「9月15日」、緑は「9月24日」と最適の収穫時期を示している。県産業技術センターが、仏観測衛星などの画像に写った稲穂の色を基に分析し、16年から生産者へ提供している。工藤さんは「収穫は経験と勘に頼っていたが、一番よい状態で収穫したコメを届けられるようになった。農業の経験がない若い人でもできるのでは」と語る。宇宙ビジネスを推進する経産省宇宙産業室の鶴田室長は「衛星の画像データから新たなビジネスモデルをつくりだすことが、日本の宇宙産業発展に不可欠だ」と期待を寄せている。

### 【時間経過】

#### 2009年1月15日読売 日本の農業「食料基地」で世界目指せ

国際的な穀物価格の乱高下や輸入食品の毒物混入事件、食料自給率の低下などを受けて食料の輸入依存の見直しを求める声が広がっている。同時に、WTOの貿易自由化交渉や自由貿易協定（FTA）締結交渉において最大の焦点は、農業分野。しかし、日本は耕作放棄地が拡大、農村は深刻な担い手不足などの問題にも直面。

#### 2014.9.21 読売 品質維持に独自基準、農業、磨くブランド力、北海道「ゆめぴりか」

かつて「厄介道米」と呼ばれた北海道米は、今では「売れるコメ」の先頭を走る。主力品種「ななつぼし」の2013年産は道外へ約8万トン販売し、この9年で2.5倍になった

#### 2014.11.12.読売 農業IT化の波、生産性の向上生む、二酸化炭素、日照量、肉質もデータ化、勘や経験頼み脱却、市場規模拡大見通し

2014.11.29 日経 機能性野菜、健康で売る、三井物産、玉ねぎを今秋から、カゴメ、高リコピンのトマト。

2015.2.19 日経 農協改革、成長産業への一歩、地域の自主性課題、営農・販売会社で「第2幕」を、全中縮小で地域に即した農業振興へ前進、地域農協の自主性向上へ経営能力が課題、各農協に営農・販売会社設け外部と連携を

2014.12.8 日経 強い農業へ北海道前進、大企業の先端技術、栽培効率大幅アップ、進化する農協、高付加価値化を主導、海外市場を開拓、果実などに拡大、金融、支援の動き

2015.1.23 日経 再考、成長戦略、競争こそ強い農業への道、「保護」より輸出促進を、ブランド化。生産革新急げ、農業を守るための措置が逆に衰退を促す、生乳指定団体や豚肉の差額関税は廃止を、地域農協の独自性発揮へ系統改革も必須

#### 2015.1.31 読売 農業ビジネス、挑戦する若者、会社設立や法人に就職

農家出身でない20～30歳代が、農業に関連したビジネスに挑戦する例が目立ってきた。新規就農後に農作物の販売会社を設立したり、農業法人に就職したり、農業に新しい可能性を見出そうとしている。

2015.2.10 日経 農業再生へ競争促進、JA全中の指導権廃止、「兼業」編重から脱却、地域農協改革、次の焦点

2015.2.10 日経 農林水産物輸出、初の6000億円超、昨年11%増加、和食ブーム、検疫協

## 議弾み

### 2015.10.21 読売 TPP 反発、歓迎の声、不安で先見えない、国産の販路拡大

環太平洋経済連携協定(TPP)で大筋合意した関税撤廃に関する全容が公表された20日、農林水産業関係者からは反発の声が相次いだ。一方、生き残りに自信を見せる生産者や、関税撤廃を歓迎する飲食業者もいた。

### 2015.12.24 読売 「稼げる稲作」農家転機、ブランド化、課外販路開拓、保護策依存脱却へ

### 2015.3.16 日経 衛星データで無人農業、日本版 GSP から「宝の山」全国で誤差 5 cm 以内 【植物工場】

植物工場とは、光や温湿度を管理してレタスやニンジンなどの野菜を栽培する屋内施設。太陽光を利用して光熱費を抑えつつ不足光量を人工光で補う太陽光型と、人工光のみ使う人工光型がある。いずれも土壌に左右されず完全無菌で生産可能だ。栽培期間も露地栽培の半分に短縮できる。

ここでも最近、コンビニが進出している。下記に例を挙げる。

### 2018.11.21 日経 セブンが植物工場、サラダ 7 万食分のレタス生産

セブン・イレブン・ジャパンは東京都と佳奈が w ケンの店舗で販売するサラダやサンドイッチ向けに、大規模な植物工場を設ける。LED を使って 1 日でサラダ 7 万食に相当するレタスを生産する能力を持ち、天候で仕入れ価格や品質が変動するリスクを抑える。流通大手による大量調達は植物工場の経営安定にもつながり、拡大を後押ししそうだ。

## 【時間経過】

### 2014.5.14 読売 野菜工場すくすく、異業種から続々、競争激化、無農薬で安定生産、九州山口で 3 年で 2.6 倍

### 2014.6.6 日経 植物工場、高効率生産探る、大規模化、IT で環境データ蓄積、コスト削減、野菜安く

### 2014.9.10 読売 宇部の商店街に野菜工場、空き店舗活用、9 月オープン、地元企業が山口大学と連携、生産風景を公開

### 2014.10.24 日経 LED で葉物野菜栽培、関連の半導体会社の技活用、Y&G、ディストリビューター（笠岡市）

### 2016.1.26 日経 植物工場パナソニック、シンガポールに進出、芽吹くアジア、生鮮野菜安全に提供、国内生産の 5% 目標

### 日経 2017.5.22 植物工場の税負担軽く、「コンクリ舗装も農地」政府認定、企業の参入を後押し

### 日経 2017.12.1 全自動レタス工場輸出、スプレッド、省力化・節水、中東に商機

### 日経 2017.12.6 未来農業、革新の先に、パナソニック、夜の自動収穫、トマト熟度見極め瞬時

### 日経 2017.12.22 植物工場完全自動に、キャノン電子、ロボ技術を活用、収益化しやすく

## 12. GPS,位置情報

### 【GPS ; 位置情報の誤差は約 10m】

米国防総省が運用する衛星測位システム。1978年に最初の衛星が打ち上げられ、現在は30基が高度2万キロの地球上空を周回している。GPS衛星の電波をスマホなどの受信機で受け取ると、送信時間と受信時間の差で、受信機と衛星までの距離がわかる。衛星4基から電波を受信すると、各衛星からの距離と時間差がわかり、地上の位置がほぼ正確に割り出せる仕組み。GPSはGlobal Positioning Systemの略。

- ロシア GLONASS ; グロナス、24基体制で誤差は約50~70m
- EU Galileo ; 30基体制 誤差は約1m
- 中国 北斗 ; 3基体制 誤差は約10m
- インド IRNSS ; 7基体制 誤差は10~20m
- 日本 みちびき ; 4基体制 誤差は6cm程度

### 【準天頂軌道】(日本版衛星利用測位システム GPS)

通信衛星や放送衛星、気象衛星「ひまわり」などの静止衛星は、赤道上空の「静止軌道」を地球の自転速度に合わせて飛行する。常に日本から見える位置にあるが天頂付近は飛行しない。日本の準天頂軌道は赤道面から40~50度斜めに傾いた軌道で、日本のほぼ真上にいる時間が長い。みちびきはGPS衛星と合わせて測位しているが、準天頂衛星が7基体制になる23年度には、GPS衛星に頼らず位置情報が得られるようになる。

最近のGPSの話題を以下に記載します。

### 2018.11.2 日経日本版 GPS、新産業導く、誤差数cm、本格運用、自動運転など活用期待

日本版全地球測位システム(GPS)を担う人工衛星「みちびき」の本格運用が1日、始まった。誤差が10cm以下という世界最高水準の位置情報の提供が可能となる。活用すれば、車の自動運転やインフラ点検など、2025年には5兆円の新サービスが創出されとの推計がある。幅広い業種の企業が参入に興味を示しており、新市場を巡る争奪戦が激しさを増しそうだ。「我々の生活はGPSなしでは成り立たない。みちびきによって歴史の新たな根ページが開かれようとしている」。安倍晋三首相は1日、都内で「みちびき」の記念式典に出席し、挨拶をした。「みちびき」は特定の地域の上に長くとどまる「準天頂軌道」をとる衛星。1~4号機のいずれかが日本上空付近にとどまることになる。従来のGPS衛星に「みちびき」を加えて、GPSの電波が届きにくい山間部や高層ビルが立ち並ぶ場所でも安定して精度が高い位置情報が得られる。専用の受信機を使えば、GPSの誤差約10mを、数cm程度にまで縮めることができる強みだ。受信端末さえあれば、電波の受信料は無料となる。内閣府など日本政府は、準天頂衛星の整備に約1200億円を投じてきた。推進する背景には新しい産業の創出につながる可能性がある。特に、実用化が急がれる自動運転の分野での活用への期待が大きい。自動運転では数cmの誤差があれば、2車線、3車線の道路ではどの車線を走行しているかも把握できる。日本版GPSの活用でエリアなど限られた条件下で完全自動運転を実現する「レベル4」の普及が進むとみられる。自動運転の位置情報サービスだけで市

場は約 5000 億円あると見積もる企業もある。自動運転以外の様々な分野への応用が期待され、様々な業種の企業が参入機会をうかがう。日立製作所は 11 月から、大規模農家向けにシステムの受注を開始するオーストラリアの農場で無人トラクターの実証実験を進めた結果、水撒きや肥料の散布など約 8 割を自動化できる見込みだ。同国の平均農地面積(3000ha)であれば人件費など年 4000 万円の削減効果になる。一般財団法人、衛星測位利用推進センターによると、日本国内で 25 年時点で約 2 兆 4 千億円、東南アジア・オセアニアで約 2 兆 3 千億円の経済効果があるとはじく。今後の課題は、受信機のコストだ。三菱電機は 1 日から数 cm 誤差に縮められる高精度の受信端末を発売した。価格は 1 台、数 100 万円。自動車に搭載するには数万円まで下げなければならない。量産化によるコストダウンが普及のカギを握る。装置の小型化が課題の一つになる。現時点では基盤は 10 cm 四方と大きく、スマホに組み込むにはまだまだ。さらに世界最高精度の位置情報は日本とオーストラリアに限られ、全世界を対象にすることができない。位置情報は米が GPS 衛星のシステムを開発。カーナビゲーションなどの新サービスの創出につながった。世界で独自に位置情報サービスを提供する動きが広がる中、高精度で日本版 GPS が先行する形が、今後、自動運転などで世界をリードできる可能性がある。

#### **2018.12.28 読売 中国版 GPS 全世界運用、北斗、前倒しで開始、米に対抗**

中国政府は、米国の GPS に対抗して独自開発を進めてきた衛星測位システム「北斗」が 27 日、全世界に向けたサービスを開始したと発表した。中国通信機器大手「フォーウェイ」などによる次世代通信機器「5G」の技術覇権争いに続き、測位システムでも米国の優位に挑む狙いがあるとみられる。中国は 2012 年から、アジア・太平洋地域を中心とした約 90 か国に北斗のサービスを提供してきた。全世界向けサービスはこれまで、20 年までに開始する計画だったが、前倒しした。中国政府の衛星測位システム管理部門の担当者は 27 日の記者会見で、北斗が提供するサービスで、位置情報の誤差の範囲は当面「10m になる」と説明した。中国は現在、位置情報の誤差の範囲が「2.5~5m」の「北斗 3 号」衛星を 19 基打ち上げているが、精度の低い前世代システム「北斗 2 号」の衛星を組み合わせで運用するという。今後 20 年までに、3 号の衛星 11 基、2 号の衛星 1 期を新たに打ち上げ、全世界向けのサービス体制を「完成させる」とも説明した。中国は、改革・開発政策 40 年の節目を迎えており、今回の発表は、宇宙開発や測位技術の急速な進展を誇示する狙いもありそうだ。全世界にサービスを提供している測位システムは、米国の国防総省が 31 基体制で運用する GPS のほか、ロシアの「クロナス」、欧州の「ガリレオ」があり、GPS が圧倒的な影響力を誇っているとされう。習近平政権は、中国とブラジル、ロシア、インド、南アメリカで作る新興 5 か国 (BRICS) の枠組みで北斗を利用したビッグデータの運用などにおける協力体制を提唱するなど、北斗システムの普及を急ぎ、国際的な影響力拡大に利用する構え。

#### **2018.12.28 読売 中国、データ集積加速、米、警戒強める、「測位」世界対応**

中国測位システム「北斗」が世界向けにサービスを開始したことは、習近平政権の最先

端技術開発に警戒を強める米トランプ政権が、対中強硬姿勢をさらに強めるきっかけとなる可能性もある。

衛星による測位システムは、元々は軍事活動向けに開発されたが、民間のカーナビゲーションや携帯電話の位置情報サービスなどに幅広く利用されている。米国の GPS が先行してきたが、中国は軍事活動での米 GPS への依存から脱却するために北斗の開発を進めた。一方、中国国内ではすでに主要 36 都市の路線バス 8 万台、海上の管制設備 2900 基などが北斗を導入している。国内で販売されているスマホの大部分も位置情報機能などで北斗を活用しており、民間への普及も進んでいる。測位システムは、位置情報を提供する一方、システムを運用する側も、システムも活用する機器の位置や移動に関する情報を収集することが可能とされている。習政権は国家ビッグデータ戦略を推進しており、携帯電話による電子決済などを通じ、国民の行動データを集積している。測位システムの情報も、こうした政府の政策に利用されているとみられる。北斗を利用した製品はすでに、ロシアやインドネシア、アルジェリアなどの国で普及しつつある。今回の全世界向けサービスの開始を受け、中国は北斗のさらなる市場拡大を見込む。SNS(ソーシャルネットワークサービス)大手のテンセントは、2020 年に独自のカーナビシステム提供を開始する意向を示している。米ブルームバーグ通信によると、トヨタや独フォルクスワーゲンなど国外自動車メーカーも北斗システムへの対応を検討し始めている。さらに、将来的には、中国上空を飛行する国外の航空会社や、中国に輸出する外国企業の製品に対しても、北斗への対応を義務付けられるとの見方が出ている。今後、北斗のサービス拡大に伴い、国際的な懸念も呼びそうだ。

#### **2019.1.16 読売 日本版 GPS、海自活用へ、米衛星への攻撃時、代替、21 年度にも護衛艦で、中国の脅威念頭**

政府は、米国の全地球測位システム衛星が機能不全に陥った場合に備え、自衛隊による日本版 GPS 衛星の活用を本格化する方針を固めた。中国やロシアが衛星への攻撃能力を高める中、GPS の代替機能を確保するためだ。2021 年にも海上自衛隊の護衛艦に導入する。

各国軍の活動では、人工衛星の通信ネットワークが不可欠となっている。海自艦艇も、作戦などに必要な位置情報の把握を GPS 衛星に大きく遺贈しており、「GPS 衛星が攻撃されれば、自衛隊の運用がまひする恐れがある」とされる。日本とアジア・オセアニアの上空を 8 の字形に周回する準天頂衛星は、日本独自の測位衛星だ。これまでに 4 基が打ち上げられ、2018 年 11 月に本格的な運用が始まった。2020 年度ごろに 7 基体制となり日本周辺では米国の GPS に頼らない測位が可能になる。海自は現在、敷設艦と潜水艦救難艇の 2 隻に準天頂衛星の受信機を先行的に設置し、運用を行っている。これを踏まえ、政府は 21 年度をメドに、いずも型護衛艦など 4 隻のヘリコプター搭載護衛艦に受信機を設置する方向だ。ほかの護衛艦や潜水艦、航空機、ヘリコプターなどにも順次、受信機を搭載する案もある。自衛隊と在日米軍が共同で、準天頂衛星を利用できる方法も検討する予定だ。準天頂衛星には、位置を伝える測位信号への妨害電波や偽の即位信号を回避できる機能がある。「公共

専用信号」と呼ばれる日本独自の技術で、通信の秘匿と暗号化を図っている。政府は昨年12月に策定した5年間の中期防衛力整備計画（中期防）に、準天頂衛星を安全保障に活用する方針を明記した。ロシアや中国は宇宙専門の部隊を編成している。中国は07年に弾道ミサイルを用いた衛星破壊実験を行い、衛星を攻撃する「キラー衛星」や電波妨害装置などの兵器開発も進めているとされる。日本政府は、中期防に日本の衛星への電磁妨害状況を把握する装置を新たに導入する方針を明記し、宇宙領域での防衛能力強化を急いでいる。

#### 【時間経過】

##### 日経 2017.3.9 GPS 日欧で相互利用、協定に署名、精度、大幅に向上へ

内閣府と欧州委員会は8日、双方が展開する衛星測位システムを相互利用する協定を結んだ。2018年に本格稼働する日本版全地球測位システム（GPS）の「準天頂衛星」と欧州版GPS衛星「ガリレオ」の両方を日欧で利用できるようにする。

##### 日経 2017.8.31 GPS で水蒸気量観測、気象庁概算要求、大雨の予測に活用

気象庁は、GPSを使い、海上の大気中になる水蒸気量を観測する体制を整備することを目指し、9600万円を2018年度予算の概算要求に計上した。

##### 日経 2017.9.8 中国版GPS4兆円産業に、軍民融合で競争力向上、情報の軍事利用懸念

中国版全地球測位システム（GPS）と呼ばれる中国独自の衛星測位システム「北斗衛星導航系統」の民間転用が進んでいる。

##### 日経 2017.10.11 日本版GPS衛星4基目、精度で先行、誤差6cm、競争白熱、中印は軍事にも

三菱重工業とJAXAは10日、「みちびき」4号機を搭載したH2Aロケット36号機の打ち上げに成功。当面の目標だった4基体制を整え、測位の精度で世界の先頭に立った

## 13. 5G、Society5.0

IoT社会の実現を後押しする基盤技術の一つが、次世代通信「第5世代（5G）」だ。5Gが持つ「超高速」「超低遅延」「多数同時接続」という特性が、IoT社会におけるデジタルトランスフォーメーション（事業変革）を促す起爆剤となる。

「超低遅延」；通信のやり取りの際に発生するタイムラグが千分の1秒以下とほとんどなくなる。

#### 【Society（ソサエティ）5.0】

人類社会は狩猟、農耕、工業と変遷し、今は情報社会。こう位置付けた上で、5番目となる未来の社会を指したもの。

世界では蒸気機関、電力、コンピューターに続く「第4次産業革命」が進む。あらゆるモノがネットにつながる「IoT」や人工知能（AI）の進展。これらをうまく活用した「超スマート社会」を意味する。

政府内で「ソサエティ5.0」が初めて登場したのは、2016年度に始まった第5期科学技

術基本計画。今回の骨太の方針でめざすべき社会像として位置づけた。

ドイツが「インダストリー4.0」、米国は民主導で「インダストリアル・インターネット」、中国も「中国製造 2025」と称する。

5Gについては最近、新聞の取り上げが多くなっている。下記に、最近の記事を列挙する。  
**2018.9.1 日経 5G で何が変わるの？今の 100 倍速く通信可能、家電の遠隔操作、車の自動運転も**

#### 【5G とは】

携帯電話など移動通信システムの規格のことで、G は世代（ジェネレーション）の頭文字。現在使われているのは 4G で、5G は 2020 年の実用化を目指している。通信システムの開発の節目では、世代という言葉を使って表現する。そのたびに通信速度は速くなっている。最初の 1G は 1980 年代、用途は通信に限られていた。90 年代に 2G が登場してモバイル通信サービスができるようになった。携帯電話でメールが送れるようになった。その後、2000 年代に入って 3G になるとさらに大量のデータ通信が可能になった。おかげで携帯電話で写真が撮れるようになった。音楽配信やインターネットができるように。今の 4G では、より速いデータ通信が可能になった。スマートフォンが広まったのも 4G になったから。動画共有サイト「ユーチューブ」の動画が時間をかけずに見られるのは 4G になったおかげ。

5G では、データ通信が速くなって、機械の遠隔操作などがスムーズで使いやすくなるといわれている。2 時間の動画のダウンロードを 3 秒でできるぐらい速くなる。

5G になると、IoT 化がさらに進む。今はスマホなど限られたものしかネットにつながらないが、テレビや冷蔵庫など身近なものもネットにつながるようになる。冷蔵庫がネットにつながれば、離れたところから中身を確認できる。買い忘が減るから便利。ほかにも自動運転ができるようになる。通信の遅れがほとんどなくデータを送れるため、より正解に位置関係がわかるようになる。人と車、信号機が通信し合って、交通事故や渋滞を減らすこともできる。また、仮想現実（VR）を遠隔医療に使えば、離島に住んでいる患者さんが専門医の診断を受けられるようになる。

**2018.9.5 日経 5G インフラはや争奪戦、携帯基地局、三菱電が高速設備、中国勢の壁、新興企業も**

2020 年の商用化に向け次世代通信規格「第 5 世代」商戦が活発になってきた。三菱電機は 4 日、通信速度を大幅に高める専用デバイスを発表した。NEC や富士通など関連企業にも商機が広がる。主戦場の基地局では世界首位のファーウェイなど中国勢が立ちほだかる。さらにサーバーを活用してコストを下げ新興勢力も急浮上するなど、通信インフラ市場はかつてない大競争時代に突入しようとしている。

**2018.9.29 日経 5G、来年に一部前倒し、KDDI、限定地域で、ソフトバンクも計画提示**

**2018.12.31 日経 中国「製造 2025」後押し、先端研究ランキング重点分野重なる、産業化**

## にらみ投資加速

電池やバイオなど先端技術の研究テーマ別ランキングで 8 割の分野でトップに立った中国は、研究開発への投資を加速している。先端研究が 5~20 年先の産業競争力につながると思込んでおり、力を入れる研究テーマはハイテク産業育成策「中国製造 2025」にも重なる。中国が様々な研究分野で市場を独占する可能性もあり、米国の警戒はさらに高まりそうだ。

文科省科学技術・学術政策研究所によると、中国の研究開発への投資額は 2016 年に約 45 兆円で米国の約 51 兆円に肉薄する。中国は産業政策の中国製造 2025 で、次世代情報技術や新エネルギー車など 10 の重点分野を設定する。研究力を強化して、25 年に世界の製造強国の仲間入りをし、49 年に世界のトップ級になることを目指している。

### 【時間経過】

#### 日経 2014.12.9 革新力 考える工場、ドイツから新産業革命

車、電機、機械産業が集うドイツ南部、後世の歴史家はここを「21 世紀の産業革命発祥の地」と命名するかもしれない。カイザースラウテルンにある人工知能研究センター。シーメンスなど独製造業 10 社が参加する「近未来工場」の実験が始まった。

極めれば在庫ゼロ、人件費やねえろぎー消費も最小化できる。いわばドイツ国内が「1 つの仮想工場」。10 年以内に独製造業の生産性を 5 割前後高めるといふ。キーワードは「第 4 次産業革命」を意味する「インダストリー4.0」だ。

#### 読売 2017.3.5 超スマート社会、進む技術革新、行政も変革

近年、ソサエティー5.0、インダストリー4.0 がよく話題になる。2016 年度版科学白書によると、ネットワークの高度化、ビッグデータ解析技術、人工知能 (AI) などの発展でサイバー空間と現実空間が高度に融合した「超スマート社会」ができつつある、そうした社会の実現に向けた取り組みをソサエティー5.0 という。超スマート社会の形成に伴い、産業構造においても、第 4 次産業革命と呼ぶべき変革が起こる。インダストリー4.0 は、そのような変革に向けた取り組みとしてドイツでまず使われた言葉である。

#### 2017.6.7 日経 「5G」通信 23 年全国展開、携帯大手、IoT 加速、5 兆円投資、基地局を共有

次世代の超高速無線通信「第 5 世代」の商業利用区域が 2023 年にも全国へ広がる。NTT ドコモ、KDDI、ソフトバンクの携帯大手 3 社は 20 年に 5G の利用を一部で開始、ドコモは 3 年ほどで全国展開する見通し。3 社の総投資額は 5 兆円規模に達するとみられる。自動運転車やあらゆるモノがネットにつながる「IoT」の普及を後押しする。

各社は 20 年の東京五輪・パラリンピック開催に合わせて都心など一部エリアで商業利用を始め、エリアを広げる。ドコモの吉沢社長は「3 年以内に全国の主要地域に展開する」と言明、23 年度にも全国展開する見通しを表明した。

#### 2017.6.15 日経 骨太診断 ソサエティー5.0 めざす？

経済財政運営の基本方針（骨太の方針）には、政府の成長戦略「未来投資戦略」の要点

が盛り込まれている。「成長戦略の加速」と題するページをめくるとすぐ見慣れない語句が目に入る。「Society（ソサエティ）5.0」だ。人類社会は狩猟、農耕、工業と変遷し、今は情報社会。こう位置付けた上で、5番目となる未来の社会を指したものだ。世界では蒸気機関、電力、コンピューターに続く「第4次産業革命」が進む。あらゆるモノがネットにつながる「IoT」や人工知能（AI）の進展だ。これらをうまく活用した「超スマート社会」を意味する。

#### **読売 2017.7.17 日本語会話滑らか AI、海外勢に対抗、次世代通信も対応**

総務省は人工知能を活用し、日本語の特性に最適な国産の会話システムを官民共同で開発する方針を固めた。来年度から実証実験を始め、2020年の実用化を目指す。この分野では米アマゾン・ドット・コムなどの海外勢が先行しているが、次世代の高速通信規格「5G」にも対応し、その場に話し相手がいるかのように自然な日本語の会話ができるシステムで対抗する。

#### **日経 2017.7.20 5G 世界で規格統一、日米欧中韓、20年めど、IoT 普及後押し**

次世代の超高速無線通信「第5世代（5G）」で、日本と米国、欧州、中国、韓国が通信規格を統一する。2020年をめどに周波数などの仕様で合意し、世界の市場で共通の機器やサービスを広げる。これまで独自規格にこだわってきた中国を含めて同じ規格を作る。あらゆるモノがネットにつながる「IoT」の機器やサービスの普及を後押しする。

#### **日経 2017.8.3 科学技術イノベーション総合戦略 2017 と未来投資戦略 2017、「Society5.0」道標示す**

日本の科学技術政策の指針となる「科学技術イノベーション総合戦略 2017」が6月閣議決定された。ロボットや新素材などを軸にスマート社会「Society5.0」を目指して、各種取り組みを掲げている。具体的な数値目標を示した「未来投資戦略 2017」とともに展望した。

政府は、科学技術基本法に基づき策定する、10年先を見通した5年間の科学技術の進捗に関する総合的な計画として、1996年度から5年毎に「科学技術基本計画」を策定している。2016年度からの第5期基本計画では、スマート社会「Society5.0」を目標に、

#### **日経 2017.8.8 5G インフラ商機、古河電工 光ファイバー増産へ、富士通・NEC 通信設備開発に力、新市場競争備え**

超高速無線通信「第5世代（5G）」が世界で導入される2020年が迫り、関連企業に商機が広がっている。通信データを伝送する光ファイバー大手の古河電気工業は18年度までに生産能力を2割増やす。富士通やNECなども通信設備やソフトウェアの開発に力を注ぐ。通信インフラ技術は欧米勢に加え中国勢が台頭している。5G向けの体制づくりを急ぎ成長市場での競争に備える。

#### **日経 2017.8.25 5G 用技術開発へ、官民、大容量データ伝送**

政府は次世代無線通信「第5世代（5G）」を本格的に普及させるため、大容量のデータ通信を支える技術開発に乗り出す。

2020年代後半には、高精細の動画配信などのやりとりで、現在の1000倍の送受信能力が

必要とされる。官民で超高速回線網に使われる光ファイバーの能力を高める研究や技術開発に着手し、あらゆるモノがネットにつながる「IoT」などのサービス基盤を整える

#### 日経 2017.9.25 次世代通信「5G」って何？データ遅延解消、自動運転に活用

「世代交代の程にデータを送受信するスピードが高まる。ファウエイは展示会で 8G バイトのハイビジョン画質の動画をダウンロードするのに 3G では 70 分、4G で 7 分、5G なら 6 秒ですむと説明している。・・・「データを遅延なく送れるので、自動運転車分野での活用が期待される。高速運転中に前方の車がブレーキを踏み、後続車のブレーキが作動するまでのに 4G だと 1m 以上進んでしまうが、5G なら数cmに抑えられる。・・・

#### 日経 2017.11.6 IoT 社会を支える 5G 事業変革を促す起爆剤

あらゆるモノがネットにつながる IoT は、情報技術 (IT) の進化とともに、我々の生活や産業の在り方を大きく変えつつある。そうした IoT 社会の実現を後押しする基盤技術の一つが、次世代通信「第 5 世代 (5G)」だ。5G が持つ「超高速」「超低遅延」「多数同時接続」という特性が、IoT 社会におけるデジタルトランスフォーメーション (事業変革) を促す起爆剤となる。

家電製品、自動車、セキュリティーカメラ、ドローン、建設機械など、IoT 社会ではネットにつながるモノの種類や数が増える。それらが相互に作用することで利便性や生産性が高まり、新たなサービスやビジネスが生まれる。その結果、通信機能を備えた機器が大幅に増え、やり取りする情報が多様化・大容量化する。複雑かつ膨大な通信トラフィック (回線を利用するデータ量) に対応できる通信ネットワークが必要となる。それら機器間のやり取りは主にワイヤレスで行われる。これが IoT 社会を支える基盤技術として 5G が必要とされる理由である。

#### 日経 2018.1.12 5G 時代 覇権争奪、米家電見本市、ネット動画や半導体、車、AT&T など巻き返し

#### 日経 2018.2.27 5G、世界で来年一斉に、日本も前倒し検討、IoT や自動運転に応用

世界の通信事業者や機器メーカーが次世代高速通信規格「5G」の 2019 年商用化に向けて一斉に動き出した。当初計画を 1 年前倒しする。スマホ向け高速通信のほか、あらゆるモノがネットにつながる「IoT」の進化やつながるクルマ「コネクテッドカー」の開発等、世界的な投資やサービスの高度化に弾みがつきそうだ。

## 14. 量子コンピューター

光電子などの極微の世界で起こる物理法則を示す「量子力学 (20 世紀に登場)」を応用して計算するコンピューター

特長は最大で従来型コンピューターの 1 億倍以上という演算速度

汎用的な「量子ゲート方式」の量子コンピューター

基本素子に日本企業がノウハウを持つ半導体材料を採用

グーグルなどが取り組む超電導状態を生かす手法よりも低コスト化

D ウェーブ・システムズが「量子アニーリング」と呼ぶ方式

CMOS（相補性金属酸化膜半導体）を使った回路を用い、特定の計算で量子コンピューターに匹敵する性能

### 【量子科学】

電子や原子など微小な領域で起きる現象を説明する量子力学に基づいた科学。

こうした現象を応用することで、超高速計算を可能とする量子コンピューターや盗聴が事実上不可能な量子暗号通信の実現が期待されている。

次世代のレーザー加工やセンサー技術などへの応用も想定される。経済成長につながるイノベーションや軍事技術への応用などから欧米や中国が力を入れている。日本も量子科学技術研究開発機構を昨年に発足させるなど研究体制を強化している。

### 【重ね合わせ状態】

電子や光子など「量子」と呼ばれる極微の世界では、不思議な物理法則が成り立っている。その一つが「重ね合わせ状態」。

例えば、0と1のコートに分かれてドッジボールをする場合、ある瞬間、ボールは0か1かのどちらかにある。

だが、ボールを電子に置き換えると、その位置は1カ所に定まらず、両コートのうち一定の確率で存在する。

電子はある瞬間、0にも1にも存在する。この不思議な状態は「重ね合わせ」と呼ばれ、量子の位置の他、自転の位置で起こる。量子コンピューターは、そうした量子の性質を利用している。

### 【量子コンピューターは並行、枝分かれの世界で計算する？】

現在、枝分かれした世界で同時並行的に計算を行うかのようなコンピューターが開発中。現在のコンピューターが一億年かかっても解けない問題をわずか数秒で解いてしまう。想像を絶する高い能力を持った夢のコンピューター。

### 【0でも1でもある量子ビット】

現在のコンピューターは、あらゆる情報を二進数の数字に置き換えて処理。二進数は「0」と「1」の二つで表される数字。0か1という情報処理の単位をビットという。これに対して量子コンピューターでは、情報処理の単位に「0と1の曖昧な状態」を利用する。これを量子ビットという。

まず、電子を入れる小さなかごを二つ用意して、ごく近くに並べる。そして1個の電子をどちらか一方のかごに閉じ込める。現在のコンピューターでは、電子が左のかごにいる状態を0、右のかごにいる状態を1と表す。ところが、量子論は、誰にも見られていない時の電子は居場所が曖昧なので、左右のかごのどちらにいてもいえる。この「0でもあり1でもある」曖昧な状態が量子ビット。

量子ビットを使うことで、量子コンピューターは並列演算を行う。たとえば二つの量子ビットを用意すると、一つの量子ビットが0と1の両方の状態を同時に表せるので、これを

つかつて「0+0」「0+1」「1+0」「1+1」の四つの計算を同時に実行することが可能になる。量子ビットが 10 あれば二の十乗つまり、1024 通りの計算を一度に行うことができる。これを利用して、一度に大量の情報処理を行い、超高速演算を行う。

#### 【量子コンピューター関連の主な研究史】

- ①1985 年、ドイツ・英オックスフォード大学教授が量子コンピューターを考案
- ②1994 年、米ベル研究所が高速で素因数分解できるアルゴリズムを開発
- ③1998 年、西森東工大教授らが新しい計算手法「量子アニーリング」を提唱
- ④1999 年、NEC が超電導素子による初の「量子ビット」を作製
- ⑤2011 年、カナダの D ウェーブ・システムズが量子アニーリング・マシンを発売
- ⑥2014 年、内閣府が「量子ニューラルネットワーク」の研究開発事業を開始
- ⑦2017 年、NTT が量子ニューラルネットワークの利用を開始

#### 【量子コンピューターのタイプ】

量子コンピューターと呼ばれているのは、大きく 2 つのタイプがある。すでに実用化しているのは「量子アニーリング方式」で、カナダのベンチャー企業が 2011 年に発表。組み合わせ最適化問題を得意としており、米ロッキード・マーチンや米グーグルなどの企業や研究機関が実際に導入している。一方、1980 年代から今も研究が続いているのが「量子ゲート方式」。量子ビットの重ね合わせ状態を維持する技術が難しいため実用化に至っていないが、もし完成すれば、あらゆる種類の計算を汎用的にこなせると言われている。

最近の話題を以下に掲載します。

**日経 2019.2.26 量子計算機、実用段階に、センサーなど応用広がる、配送や避難、最適ルート、「おすすり」提案精度向上**

センサーは工場で使う無人配送車の効率的な動かし方、東北大学は津波発生時の避難経路探し使えることを確かめた。

**2019.1.24 日経 最短運転ルート、「量子論」で検索、富士通、21 年に実用化**

富士通は量子理論を参考にした高速コンピューター技術「デジタルアニーラ」で 100 万台規模の交通量を最適化する技術の確率を目指す。

**読売 2018.7.12 「マヨラナ粒子」証明 80 年前に存在予言、量子コンピューターに応用も、専門家「画期的な成果」**

マヨラナ粒子；イタリアの物理学者エttore・マヨラナが 1937 年に提唱した、粒子と反粒子の区別がつかない特殊な粒子。絶縁体の中で熱を運びながら動くことができる。

物理学の理論で約 80 年前に予言され、世界の物理学者が競って探している「マヨラナ粒子」の存在を証明した、と京都大・東京大・東工大の共同研究チームが 11 日発表した。今回はマヨラナ粒子そのものを発見したわけではないが、チームは「存在を証明する決定的な証拠がえら得た」としている。

膨大な計算を超高速で解く次世代計算機「量子コンピューター」に応用が期待される成

果という。物質を形作る原子は、電子など極微の粒子からできているが、粒子には通常、重さが同じで電気の性質が正反対の「反粒子」がペアで存在するが、マヨラナ粒子は電気を帯びずに粒子と反粒子が同じ性質を持つとされている。

兄弟などのチームがマヨラナ粒子の存在の証拠をつかんだとことに「画期的成果」などと評価する声が上がっている。マヨラナ粒子を巡っては 2000 年代半ばから、電気抵抗がない超伝導体などを使って探索する実験が盛んになり、オランダや中国などの研究チームが、存在を報告する論文を相次いで発表してきた。だが、反論もあり、議論が続いている。加笠原准教授は 11 日、京大での記者会見で「今回確認された現象は、マヨラナ粒子以外考えられないものだ」と強調。別の実験で探索を続けている理研の花栗も「極めて高度な実験で実証したマイルストーン（一里塚）となる成果だ」と評価した。マヨラナ粒子を使えば安定した計算が可能になるため、エラーの少ない「量子コンピューター」への活用が期待されている。花栗は「そのためには、マヨラナ粒子を自在に扱える技術が必要になる」と指摘している。また、藤本阪大教授は「今回の実験の条件で、なぜマヨラナ粒子が存在できるのか不明な部分もある。今後、詳細な検証が必要だ」と話している。

#### **日経 2018.7.12 幻の粒子、存在の証拠、80 年前に予言、量子計算機に応用、京大など発表**

現在のスーパー・コンピューターよりも桁違いに高速でエラーの少ない量子コンピューターに応用できるという、12 日付けの・・・マヨラナ粒子は粒子であり反粒子でもある不思議な性質がある。・・・京大の笠原は塩化ルテニウムに磁場をかける実験進めた。内部の熱の伝わり方の変化を調べたところ、理論で予想される現象がおき、マヨラナ粒子が内部に出現したと結論付けた。通常の粒子としては存在せず、電子の性質が変化することで、あたかも一つの粒子のように振る舞っていると分析している。

マヨラナ粒子を量子コンピューター」に応用できれば計算エラーの極めて少なくなると考えられている。量子コンピューターは量子力学の「重ね合わせ現象」を利用しているが、現行技術ではこの状態を保つのが難しい。マヨラナ粒子を使えば重ね合わせの状態を安定して保てるため、実用化の課題をクリアできるとされる。

#### **【時間経過】**

#### **2017.6.25 読売 速度 1 億倍、コンピューター革命、量子でスパコン超えろ**

膨大な量の計算を高速に解くことができる次世代計算機「量子コンピューター」の開発や利用が活発化している。量子コンピューターを使えば、通常のコンピューターの 1 億倍速く計算できるとの報告もあるほか、創薬や交通の効率化、人工知能研究などが大きく進む可能性がある。

#### **日経 2017.8.12 AI や自動運転、「量子」が突破口、一億倍速コンピューター、3 年かかる計算、1 秒で**

学術の世界にとどまっていた「量子コンピューター」が本格的な商用化の扉を開こうとしている。グローバル企業による導入や実験が活発になっており、特長は最大で従来型コ

ンピューターの1億倍以上という演算速度だ

### 日経 2017.9.1 超高速、スパコンの先へ、量子コンピューター「10年後実用化」、開発競争、日本にも「勝機」

次世代の高速コンピューターとして期待される量子コンピューター。文科省は10年後の実用化に向けて大型の研究プロジェクトを来年度から立ち上げることを決めた。欧米でも政府や企業が研究開発を加速している。競争が激しくなっている背景には、既存のITの限界を超え、社会に変革をもたらすイノベーションにつながる期待がある。

### 日経 2017.9.25 量子コンピューター新手法、東大、1回路で計算

東大の古沢教授と武田助教は「量子コンピューター」を1つの回路で作れる手法を開発した。回路を繰り返し使い、効率よく高速・大量の計算ができる。計算を担う機器を小さくでき、コストの抑制などにつながる。回路の中を通る原子や「光子」光の粒を計算に用いる。

### 2017.11.1 日経 量子コンピューター、分析の不可能をなくす

スーパー・コンピューターの能力を大きく上回る量子コンピューターが、人工知能の持つ可能性を格段に広げようとしている。AIは膨大なデータをもとに学んだり分析したりする。このスピードや正確性の向上を量子コンピューターが担う。

### 2018.1.1 日経「未来の頭脳」米中が先手、量子コンピューター実用化競う

半導体の高性能化が行き詰まる。「石油の世紀」の終わりが近づく。企業の競争力に影響を及ぼす様々な限界があちこちに見える。企業は限界を突破するためのイノベーション（革新）をどう生み出し、競争力の源泉をどこに求めるのか。

日経 2018.1.8 「量子名乗る」重要か、次世代計算機めぐり論争、海外は境界設けず研究

NTTが2017.11にインターネットで公開利用を始めた高速計算機が論争を呼んでいる。NTTなどは「国産初の量子コンピューター」と宣言したが、国内の他の研究者らが「量子コンピューターとは別」と注文をつけた。未来の計算機を巡っては幾つもの方式がある。どの方式を「量子コンピューター」と呼ぶかといった学術的な議論に終始すれば、研究を磨きあう機会を失う。

### 日経 2018.1.22 量子計算機、開発進む、NEC、18年度中に「頭脳」

計算速度が現在のコンピューターをはるかに上回る「量子コンピューター」の研究開発を日本企業が本格化させる。NECは「頭脳」にあたる基礎回路を2018年度中に開発し、23年度にも実用化する。富士通は関連技術に3年間で500億円を投じる。日本勢は基礎研究では先行したが、商用化では遅れている。政府は18年度から大学などの研究支援を強化する方針で、産官学の連携により巻き返す。

### 日経 2018.2.18 最適化問題 速く解くには、量子コンピューター改良進む

スーパー・コンピューターの限界を超える量子コンピューターの研究開発が熱を帯びている。現在のコンピューターでは解くことが難しい「組み合わせ最適化問題」を得意とするからだ。極微の世界の物理法則を示す量子力学をヒントに、計算量が爆発的に増える難

間に対処する。様々な分野に応用する試みが始まったほか、最適化問題に特化した新たなハードウェアの研究も活発になってきた。

#### **日経 2018.2.13 量子コンピューター並み、特定用途向け、日立が計算機**

日立製作所は現在のコンピューターの性能をはるかに上回る新しい計算機を試作し、2018年度夏にもインターネットで無償公開する。特定の計算用途では、難問の処理を得意とする量子コンピューターに匹敵する性能が期待できる。様々な使い方を試してもらい、具体的な用途を探して先行する欧州よりも早く普及させる狙いだ。

日立は膨大な選択肢から最適な答えを導く計算を得意とする次世代計算機を開発した。CMOS（相補性金属酸化膜半導体）の組み合わせ方を工夫し、最適解を探す計算モデルを解くのに特化した回路を作った。

#### **日経 2018.3.11 極微世界の物理法則「量子速度限界」分子集合体でも成立、東北大解明**

東北大学の関根准教授らは、原子や電子などで起こる「量子速度限界」と呼ばれる法則が目に見える大きさの物体でも成り立つことを明らかにした。従来は極微の世界の物理法則を示す量子力学特有の現象と考えられていた。無数の原子や分子の振る舞いといった原理の解明のほか、量子コンピューターの性能評価にも役立つという。

#### **日経 2018.3.18 グーグル、スパコン超える、量子計算機、年内に実証へ**

米グーグルの量子コンピューターに世界の注目が集まっている。人工知能（AI）や自動運転などソフト技術の巨人だが、量子コンピューターでも先頭を走る。今年中にスーパー・コンピューターでは到達できない新たな計算量力を実現できる可能性も出てきた。

#### **日経 2018.3.19 量子計算機実用研究へ、日立、秋にも産学連携体制**

日立製作所は超高速計算ができる次世代の「量子コンピューター」の実用化研究に乗り出す。英ケンブリッジ大学と進めていた基礎研究を発展させ、2018年秋までに国内外の大学や公的研究機関が加わる産学連携の体制をつくる。

基本素子に日本企業がノウハウを持つ半導体材料を採用、低コストを実現して米グーグルに対抗する。日立はノーベル賞学者を多数輩出したケンブリッジ大学キャベンディッシュ研究所に共同研究室を持つ。様々な計算を扱え、汎用的な「量子ゲート方式」の量子コンピューターの研究を進めてきた。基本素子「量子ビット」の材料に半導体に使うシリコンを採用。試作した超低温状態で動作を確認した。こうした成果をもとに実用化で課題となる素子の集積化がどこまでできるか研究を始める。

## **15. 自動運転、空飛ぶクルマ**

最近の話題を以下に掲載する。

**2019.3.21 日経 自動車の未来、「空飛ぶクルマ」好機見極めを、持続可能な社会形成に道、世界で開発競争進むが定義まだ固まらず、20年代に一部実現も技術的な課題は多く、機体開発やサービスで企業参入後押しを**

昨今の「空飛ぶクルマ」やドローン（小型無人機）、電動航空機など飛行技術と自動運転

技術の進歩によって、今後空の交通システムに革命が起こることが予想されている。日本では空飛ぶクルマ（空の移動革命）が、2018年6月15日の閣議決定で成長戦略の一つとして取り上げられた。18年8月から12月まで官民協議会が開かれ、20年代の実用化を目指したロードマップが発表された。

海外でも18年10月時点で、世界で130社を超える企業が機体を開発しており、毎週ほぼ2種類のペースで、アイデア段階を含めて機体が公開されている。米ウーバーテクノロジーは23年の「エアタクシー」の事業化に向けて準備を進めており、30~35年に1万機以上で1日数百万人を運ぶことを目指している。一方、自分の上空を飛行体が複数飛ぶことに不安な人々は大勢いる。騒音や上空から実生活をのぞかれる可能性に顔をしかめる人も多い。日本では積極的に名乗りを上げて開発しようという大企業はほとんどなく、有志団体「カーティベーター」が20年の東京五輪で聖火台点灯を目指していることを除けば目立たない。自動車の一本足打法といわれる日本の産業政策上の意義があったとしても、実現性の分らないものに、政府が援助することに否定的な意見があるのも事実である。

そこで本稿では、実用化の可能性や時期、市場性、そして実現に向けた技術面の課題、日本の産業界や政策当局の取るべき針路について、筆者の考え方を紹介する。

空飛ぶクルマの定義はいまだ定まらない（空陸両用車、電動垂直離着陸機、都市型航空交通、空を利用したドア・ツー・ドア移動）。「バック・トゥ・ザ・フューチャー」などのSF映画を想像すれば、空陸両用車すなわち空も飛べて地上の道路も走ることができるクルマである。一方、経済産業省は、電動かつ垂直離着陸（eVTOL=electric vertical take off and landing）で自動操縦のものと定義している。ドローンでよく用いられている形式であり、この定義で地上を走れなくてもよい。米国では、UAM（urban air mobility）すなわち都市型航空交通の話題が多く、電動にこだわらない。一方、一つの機体ではなく空の利用を含むドア・ツー・ドアの移動サービスとして捉えることもできる。例えば欧州エアバスは、ドローンが自動車をつり上げて運ぶシステムを開発している。「クルマ」という名称は、人が移動に利用する大衆的な乗り物というイメージを出すため、必ずしも「自動車」の機能を持っていなくてもよい。無人で物を運ぶドローンと有人機である空飛ぶクルマの違い、まず安全のレベルである。ドローンはたとえ墜落しても物損で済む場合もあるが、空飛ぶクルマは人命を預かる乗り物なので、トラブルが起きれば、郊外ではその場に無事に着陸し、都市では人里を離れるまで滑空して無事に着陸する必要がある。用途も異なる。空飛ぶクルマは、大都市内交通、医療、観光、災害救助、地方都市間交通、離島・へき地交通、レジャーなど多様な用途で、ヘリコプターより購入・運用コストが低く、狭い場所に降りることができ、騒音の低減効果が期待できる。欧米では、渋滞が深刻な大都市で利用が期待されている。

にはんでは、持続可能な社会構築の意義が重要である。有人の離党は約420あり、約1万6千の限界集落がある。例えば北海道では、拠点病院から遠方への医師の派遣が負担となっている。訪日外国人客の増加に対し、地方都市間の航空路線が貧弱という課題もある。

社会の課題を解決して時速可能な社会を作るために、単なる技術志向ではなく、ステークホルダー（利害関係者）すべての要望を聞いて社会システムとして有意義な解を見つけ出していくアプローチが必要である。技術的な可能性はどうだろうか。現在考えられている機体の多くは複数の回転翼を持ち、一つが故障しても安全性は高いと言われている。バッテリーとエンジンを持つハイブリッド（複合）にすることで安全性を高めるという考え方もある。都市上空で空飛ぶクルマが数多く舞うと事故の可能性が高まる。各々が自由気ままに空を飛ぶことは許されず、飛ぶ前に機体識別番号と航路を登録することで全ての飛行物体が認識され、その行動が予測・管理されるだろう。一般の飛行機、ヘリコプター、ドローン、空飛ぶクルマが混在する中で、運行管理システムや管制システムのルール作りが重要になる。18年末に国から出されたロードマップでは、23年に空飛ぶクルマを実現することを目標に掲げている。日本ではeVTOLを軸に開発が進んでいるが、実現時期を最も左右すると考えられるのがバッテリー技術である。多くの用途でパイロット1人と乗客2人の3人乗り以上で、30分以上飛行できることが望ましいが、今のバッテリー技術のままでは難しい。騒音問題は都市上空や夜の飛行を難しくしている。しかし現在、救急救命でドクターヘリを必要とする患者の5割以上は夜間に発生しているという。さらに大きな問題は、気象条件によって飛行できない場合が多く、レジャー以外のビジネスで利用しにくいことである。サイバーセキュリティや悪意を持った飛行体への対策も必要である。一部の用途で最初に実現する時期は20年代としても、これらの多くの技術的課題が解決されるのは30年代あるいは40年代と考えられる。

今後、空飛ぶクルマの市場はどのような国や企業がシェアを握ると予想できるだろうか。空飛ぶクルマには機体メーカーだけでなく、シェアリング（共有）サービス、保健、運航・保守通信、ソフトウェア開発など多くの企業にビジネスチャンスがある。機体でいえば、ドローンでシェアが大きい中国や、航空機や自動車のように安全品質と大量生産に強い欧米や日本など、複数の見方がある。他の業種では、各国で独自のサービスや法令があるので、どの国にもチャンスがると言える。また、都市の渋滞回避が主目的の米国と離島や災害の多い日本では、初期段階での用途が異なる可能性が大きく、日本にもチャンスがある。日本は欧米に比べて航空機の耐空証明や型式認識の経験が少ないことが、空飛ぶクルマでも競争上の不利になると長く指摘されてきた。しかし開発中の国産ジェット機「三菱リージョナルジェット（MRJ）」の認識作業の中で国土交通省や民間に多くの経験が蓄積されたことが、この問題を軽減すると期待したい。

日本の産業界や政策当局の取るべき針路はどうか。日本は失われた20年でチャレンジ心が減退し、MRJは発売延期を繰り返したことも、空飛ぶクルマへに企業の参入を妨げていると考えられる。海外でのウーバーやエアバスなどの巨大企業が参入しており、日本でも大企業の進出が望まれる。空飛ぶクルマは世界を変えるだけのインパクトを持っており、イノベーションのスピードが極めて速く、参入時期を見過ぎしやすい。日本の政策当局が世界で初めて、国が積極的に関与して官民協議会を作ったことは画期的である。政策当局

は今後、機体開発だけでなく、サービスを含めて企業の参入を促す政策が必要だろう。

#### **2019.1.24 日経 空飛ぶタクシー、試験飛行に成功、米ボーイング**

ボーイングは23日、自動運転による「旅客航空車（PAV）」の試験飛行に成功したと発表した。試作機は自動制御でヘリコプターのように垂直に離陸し、空中で静止するホバリングをした後に着陸した。

#### **2018.10.5 日経 町ぐるみで自動運転**

トヨタ自動車や筑波大学、茨城県つくば市などは2019年度から、市民の足を自動運転車でつなぐ町ぐるみの実証実験を始める。自学から最寄りのバス停まで1人乗りの電動車で運び、市内外への移動は燃料電池などバスで賄う。22年度まで実験し、関連技術を実証する。少子高齢化や過疎化など地方が抱える課題の解決につなげる。

#### **2018.10.5 日経 トヨタ・ソフトバンク新会社、移動データ活用で提携**

トヨタ自動車とソフトバンクグループは4日、次世代の移動サービスを手掛ける新会社を設立すると発表した。世界で1千万台を生産するトヨタの技術力と、シェア事業者に幅広く出資するソフトバンクの強みを生かして、次世代サービスで主導権を握る。あらゆる産業でデータが企業の価値を高める時代。米グーグルなど異業種が次世代技術で強みを増す自動車産業ではデータを巡る覇権争いが本格化する。

#### **2018.8.26 日経 空飛ぶ車、新材料が鍵**

新素材が自動運転の未来を変えようとしている。産学官が協力し、車体やタイヤ、窓など自動車の主要部品を軽量化する研究開発が進んでいる。カギを握るのは身近なプラスチックの素材にも使われる「ポリマー（高分子）」だ。自動車の重さを半分にするのが目標で、電気自動車の普及や「空飛ぶ車」の実現に弾みが付くと期待される。

「世の中になかった高性能ポリマーで作る自動車を9月に披露したい」。東京愛額の伊藤教授は6月に都内で開いた記者会見でこう胸を張った。伊藤教授らは内閣府の革新的研究開発水損プロジェクト（ImPACT）で民間企業や大学などが結集した大型研究プロジェクトを2014年からスタート。「タフポリマー」と名付けた新材料の開発で、研究成果が続々と出ているとアピールした。ポリマーは小さな原料を鎖のようにつないで合成した材料で、身の回りで活躍している。プラスチック製品やフィルムに使う樹脂、タイヤや免震装置に使うゴムはすべてポリマーだ。現在の自動車は安全性や耐久性などを考慮して鉄やガラスなど硬く重い材料が主に使われている。これらをプラスチックなど軽い材料に置き換えれば、車の重さは飛躍的に軽くなる。開発が先行するのは、窓だ。研究を進める住友化学の笠原グループマネージャーは「自動車の金属やガラスを樹脂に置き換えたい」と意気込む。軽くなり燃費が向上するからだ。ガラスよりも強い透明樹脂で全面窓を作れば、視界が広がり安全性が高まる。研究チームは硬いがもろい「PMMA」と壊れにくく柔らかい「ポリカーボネート」という2種類の樹脂に注目した。大型放射光施設「Spring-8」など最新鋭の装置で構造などを解析。両方の長所を組み合わせた高強度の透明樹脂を開発した。全面窓に使う強度試験でも割れなかった。すでに実用化の動きもある。笠岡グループマネ

ージャーは「国内の自動車会社から問い合わせがある」と話す。課題は安全性に絡む規制だ。現在はガラスしか全面窓に使えない。伊藤教授は「透明樹脂にも十分な性能があると分れば、規制も変わるだろう」と期待する。

タイヤも成果が出ている。ブリジストンの門田フェローは「ゴムはなぜ壊れるのか。大がなどと4年間考え続けた成果がポリマーの開発につながった」と振り返る。注目したのは「速度ジャンプ」という呼ぶ現象だ。ゴムを引っ張る力が限界を超えた時に、壊れる速度が急激に上昇する。60年程前から知られていたが、詳しい仕組みは分かっていなかった。

研究チームは切れ目の形状がカギであることを突き止めた。先端がとがると亀裂が広がりやすい。速度ジャンプの解析に使う数式も考案。壊れにくいゴムの条件を見積もれた。北大のグン・チェンビン教授らが開発した技術で強度も向上。硬い網目状の構造を作り、力が1か所に集中するのを防ぐ。ゴム強度は通常の約5倍でタイヤに使うゴムを3~4割減らした。

車体の軽量化に取り組むのは東レだ。ポリロタキサンという物質を樹脂に混ぜて強度を高める技術を開発。引っ張る力が従来の8倍、曲げる力は同50倍耐えた。ガラス繊維に應用すれば衝突時の衝撃を抑える部品になるほか、炭素繊維と組み合わせて、車体のフレームに使える。軽量化と耐久性が両立できる。伊藤教授は「自動車の開発現場でポリマーへの期待は大きい」と目を輝かせる。海外でガソリン車の販売禁止が検討され、EVの開発競争が激しい。改良が必要なのはバッテリーやモーターだけではない。ポリマーで軽くすれば航続距離や走行性能が向上する。車体を浮かせる空飛ぶ車でも軽量化が実現のカギを握る。9月に披露する車は車体にタフポリマー使った炭素繊維強化プラスチック(CFRP)などを活用し従来に比べて38%の軽量化を見込める。鉄やガラスを使うと1333kgになるが832kgで作成できる。同じ大きさのセダークラスの自動車は約1500kgで45%程度軽くなる。日本が強みを持つ化学の力で自動車の未来を変えられる。実用化の課題はコストだ。現状では数倍になるという。伊藤教授は「数十%のコスト増で10倍の性能向上を狙う」と話す。10年後の実用化を目指す伊藤教授は「成果を研究室だけで終わらせない」と力を込める。

### 【時間経過】

#### 2014.10.10 日経 米IT人工知能以進化、新事業創出へ投資、グーグル自動運転を強化、アマゾンロボットに活用

米IT(情報技術)大手企業が人工知能を活用した事業創出に力を入れ始めた。IBMは8日、ニューヨーク市内に人工知能型コンピューター「ワトソン」の世界本部を開設。グーグルは次世代の量子コンピューターの開発を進め、人工知能の性能向上に取り組んでいる。人工知能はITサービス・製品の競争力強化に不可欠と見て、各社は投資や人材の確保を急ぐ。

#### 2014.11.1 日経 無人でも機械が「お仕事」

果樹園用の除草ロボット、光学センサーで幹を識別し、傷つけないように回転刃の付い

た「腕」を起用に出し入れする。5年後に実用化。農機メーカーもITを活用した「スマートの農機」に注力する。農業は成長産業、ヤンマーは無人ヘリ、クボタはトラクター。政府は有力な輸出品に育てる。農林水産物・食品の輸出額を2030年までに約10倍の5兆円に引き上げる。

#### **2015.1.13 日経 ロボット普及へ法整備、無人機を商業利用、公道で自動運転、特区で実証実験**

電波法；無人で動くロボットの操作などに使う電波の割り当てなどを規定。航空法；無人飛行機が飛べる高度など運用ルールを定める。道路交通法など；公道での自動運転システムの運用ルールを定める。道路法など維持・保守関連法令；目視などを前提にしたインフラ点検をロボットで済ませられるように緩和。新たなルールも整備。消費者安全法；ロボットによる事故が起きた場合の原因究明のあり方を規定。

#### **2015.1.13 日経 トラクター、豪で無人走行、準天頂衛星「みちびき」誤差5センチ以内**

日立造船や総務省などは日本版全地球測位システム（GPS）として期待される「みちびき」を使い、オーストラリアの農地で無人トラクターの相克実験に成功した。今後は、トラクターにセンサーを取り付け、1月末から3月末にかけて、稲の生育状況や水温の無人測定を試みる

#### **2015.2.12 日経 コマツ、ロボットベンチャーに出資、建機完全無人、自動走行実現で総仕上げ**

コマツは完全に無人で動く建設機械を開発する。整地や掘削作業を自動制御する建機は市場に出したが、現状では建設現場での走行など基本操作は人に頼っている。自動運転車両やロボットなどを開発するベンチャー企業ZMPに出資し、技術を取り込み、次世代建機を実用化する。

#### **2016.2.28 読売 人工知能が車を自動運転、実現には道交法改正も**

テスラは1月、国交省の承認を得て、電気自動車を使い、日本の公道での一部自動運転を始めた。DeNA子会社のロボットタクシーは無人のタクシーの実用化に向け、今月、本格的な実証実験を始める。イメージは、客が携帯端末で所在地や目的地などを指定すると、タクシーが到着し、カメラで客を認識してドアを開け、最短ルートを割り出して発車するというもの。

#### **日経 2017.2.15 無人運転で移動支援、物流効率化、高齢者を送迎、20年実用化めざす、政府が工程表**

政府の未来投資会議は自動運転技術の普及に向け、ドライバーがいない無人運転車による移動支援サービスを2020年に実現する工程表を定める。17年度以降から必要な法整備を進め、実証実験を始める。物流効率化と高齢者の移動思念という方向性を定め、自動車メーカーなどの開発を後押しする。……

#### **読売 2017.2.27 自動運転近づく未来、2020年実現へ、法整備、実験を本格化**

自動運転技術の開発・普及に向けた政府や企業の取り組みが加速してきた。人が纏綿に

全く関わらない「完全自動運転」による移動サービスを 2020 年に実現するための法整備や実証実験が、17 年度から本格化する。

「無人」想定せず

安倍首相は 21 日の政府の国家戦略特区諮問会議で、「世界一自由度の高い環境を目指し、イノベーションを爆発させてほしい」と述べ、カルロス・ゴーンが表明した自動運転の実証実験に期待を示したが、安倍はこれに先立つ今月 16 日の政府の未来投資会議でも、必要な法整備を急ぎ、日本企業の技術開発を後押しする考えを明らかにした。

自動運転には、「4 段階のレベル」があり、現行法で対応できるのは、人の運転をシステムが支援する「レベル 2」まで。例えば、人身事故が起きた場合、現在の自動車損害賠償保険法では原則、車の所有者や運転者の責任になる。

緊急時に運転者が対応する「レベル 3」以上の自動運転では、システムの誤作動やハッキングによる事故も想定され、自動車保険の仕組みを考え直す必要がある。運転者が「ハンドルやブレーキなどの装置を確実に操作する」ことを前提としている道路交通法も見直し課題だ。無人運転車が公道を走ることは想定されていないからだ。

自動運転車の安全基準では、日本は欧州などと高速道路の車線維持機能などで、共通ルールを策定中で、まだ「レベル 2」の段階にとどまっている。政府の IT 戦略本部は、課題を洗い出し、必要な法整備の方針をまとめた大綱を 17 年度中に策定する。

#### 日経 2017.3.4 自動運転の新型研究車、トヨタが公開、米 AI 子会社が全面開発

トヨタ自動車は 3 日、自動運転技術の研究用に開発した新型車両を公開した。レクサスのハイブリッド車に米国の人工知能 (AI) 研究子会社が設計したシステムを搭載した。

異なるレベルの自動運転を検証できる柔軟性を活かし、既存の運転支援システムの高度化や 2020 年ごろを目指す高速道路での自動運転の実現に向けた開発を加速する。

#### 2017.6.19 日経 世界デジタルサミット 2017 より、AI 活用 新しい世界 (IoT が拓くイノベーションと成長) 深層学習で日々進化、エコシステム築くべき

エムビディアはゲーム用の半導体を中心だったが、今は人工知能用途を主に開発している。人間の脳の働きをまねてデータの特徴を捉える最新技術、ディープラーニングが日々進化しており、半導体の需要が大きい。

自動運転は深層学習が使われる分野の一つだ。自動運転車はカメラやセンサーで周囲の物体を捉えて操作の判断をしているが、我々が開発中のシステムは人のブレーキの踏み方など運転の癖を車が自動で学んでいく。自動車メーカーが共有する自動運転レベルの基準の中で、特定ルートに限って無人で走るレベル 4 の技術を 2018 年中に開発する。自動車メーカーは 19 年以降に自動車に搭載できるだろう。自動車事故で亡くなる人は世界で年間 125 万人いる。9 割は人のミスで、自動化技術が貢献できる。トヨタ自動車と自動運転用の半導体を開発すると発表した件では、既に両社の技術者が話し合いを始めている。

#### 日経 2017.8.15 強さの秘密① 自動運転 頭脳握る、画像半導体 GPU 米エヌビディア、高速処理で競争主導

知名度は低くとも絶対的な存在感を示す企業が日本の中にも外にもある。市場の成長が停滞しても拡大を続ける強さの秘密は何か。初回は AI の普及を追い風に「半導体業界の盟主」米インテルを脅かす画像処理半導体 (GPU) 世界首位、米エヌビディアの強さに迫る。インテルを上回る

黒のジャケット姿で強気の発言をまくし立てるエヌビディアのジェンソン・フアン CEO。5月10日のイベントでは米半導体大手インテルの創業者の一人、ゴードン・ムーア氏が1965年に唱えた半導体の進歩則を否定して見せた。

## 16. 人と人工知能

日本企業のオフィスに自動化の波が押し寄せている。起爆剤はパソコンを使う単純作業を自動化するソフトウェア「RPA (ロボティック・プロセス・オートメーション)」。工場で起きたような自動化の動きがホワイトカラーに及ぶ。

変化に対応するには人間が創造的に働いて仕事の付加価値を高められるような人材教育や法制度の整備が不可欠になる。

AI の急速な進化が社会を変えようとしている。2045年にはAIが人間の能力を超えるとされる「シンギュラリティ」が起きるといわれるほか、人間の仕事の多くがAIに奪われるとの予測も出ている。

今の大学生、高校生が社会の第一線で活躍する頃、AIと人間の関係はどうなっているのか。

いろいろなモノをインターネットにつなぐIoT(Internet of Things)。モノのインターネットと呼ばれ、成長戦略を支える柱の1つ。

これまでインターネットにつながるものは、パソコン、スマートホン、タブレット端末を前提にしていた。IoTでは、ネットにつなぐものが家電、自動車、センサーなど様々なものに広がる。

いろいろなモノをインターネットにつなぐIoT(Internet of Things)。モノのインターネットと呼ばれ、成長戦略を支える柱の1つ。

これまでインターネットにつながるものは、パソコン、スマートホン、タブレット端末を前提にしていた。IoTでは、ネットにつなぐものが家電、自動車、センサーなど様々なものに広がる。

オンキョーは自動車向けにAIを搭載したポータブルスピーカーを開発し2018年夏にも発売する。米国の家庭で利用が進むAIスピーカーと同様に、車内でもスピーカーとカーナビなどの車載器やスマートホンが連携する。

### 【マテリアルズ・インフォマティクス】情報科学駆使し探索

情報科学を駆使して新材料を効率的に探索する取組。研究者の経験や直感が頼りだった材料開発で時間やコストを削減できると期待されている。2011年に当時の米オバマ大統領が「マテリアルズ・インフォマティクス」を打ち出し、世界で注目を集めるようになった。

最近は中国の研究が活発だ。人工知能の進化を受けて実験、理論、計算科学に続く「データ科学」が第4の科学として研究開発のカギを握る。生命科学の分野でいち早く取り入れられ、創薬などに活用されてきた。試料の作製には手間がかかり大量のデータを得るのが難しいなどの課題を抱える材料分野で導入は遅れたが、活用方法を工夫しながら成果が出始めている。

最近の記事を下記に掲載する。

### **2019.3.23 日経 人間主役の AI 社会探る、米スタンフォード大学が新組織、雇用など、負の側面含め産学で議論**

グーグルなどに多数の人工知能（AI）人材を送り込んでいる米スタンフォード大学が、AI からもたらされう人や社会への影響を研究する新組織を立ち上げた。AI が人間の職を奪うなど負の側面が指摘されていることに対応する。産学協同の研究などを通じ、シリコンバレー企業などの民間 AI 戦略にも影響を及ぼしそうだ。

新組織「ヒューマンセンタード・AI（HAI）」は、同大哲学科のジョン・エチュメンディ教授と2018年秋までグーグルのクラウド部門に所属していたコンピューターサイエンス学科のフェイ・フェイ・リー教授が率いる。学部横断で取り組み、政策決定者や企業との共同プロジェクトも積極的に進めるという。

校内で18日に開いたイベントにはマイクロソフト創業者のビル・ゲイツ氏、グーグルのAI部門トップのジェフ・ディーン氏らが顔を見せ、産学の「AI オールスター」が集まる場となった。講演したリー教授は「AIの落とし穴」について言及、自動車の発明が移動効率を高めただけでなく、道路整備やまちづくり、社会文化にまで影響したことを挙げ、「今こそ人間に重きを置いたAI研究が不可欠だ」と訴えた。ゲイツ氏は講演でAIについて「有望であり危険、原子量のようなものだ」と指摘し、「性能を維持しつつも説明責任を果たせるような技術でないといけない」と述べた。グーグルのディーン氏も「(社会に普及している)技術の作り手として我々に高い倫理が求められる」と発言。会社として社会責任を意識しているとした。AIは製造業や医療などあらゆる産業と人の生活にかかわり始め、近年は負の側面も注目を集めている。人の仕事を奪うという議論や、人を差別的に分析する危険性も指摘されている。研究者らはこうした状況を危惧。18年末にカナダで開かれた世界最高峰のAI国際学会「ニューリップス」では、欧米の大学から差別への対応など多くの発表がなされた。

そして今回、シリコンバレーやIT業界の中で「頭脳の供給源」として絶大な存在感を持つスタンフォード大学が動いた新組織のアドバイザーにはグーグルのディーン氏やマイクロソフトの最高技術責任者（CTO）らが名を連ねた。共同プロジェクトを通じHAIの発想が民間に反映される可能性がある。HAIが若手のエンジニアを輩出していけば、採用を通じてIT企業に影響を及ぼすことになる。フェイスブックの情報流出など不祥事が相次ぐ今、AIも悪役のレッテルを貼られる場合が少なくない。リー氏は講演で「AIは社会をよくする。それこそ我々の目標だ」と繰り返した。HAI設立で垣間見えたのは、逆風をてこに

前へと進む担い手たちの意志だ。米テクノロジー業界の底力を日本の企業や専門家も見誤らない方がいい。

### 2019.2.27 読売 AI 創造、対話が苦手、人の仕事、とられちゃうの？

AI にできない仕事もある。スマホの改良はできても、スマホに代わる新しい端末は提案できない。病気の診断はできても、患者の気持ちに配慮して病状を伝える力はない。創造性やコミュニケーション能力、前例のない状況に対応する能力は欠ける。これからはマニュアル化できる仕事を AI が担い、人間は人間にしかできない仕事を担うと予測されています。それに合わせて、人間に求められる能力も変わっていく。

(野村総研 満谷主任の話)「多くの仕事は「好き」「面白い」といった人間の気持ちを満たすためにある。しかし、AI にそんな感性はない。子どもたちは自分の感性を大切に伸ばし、AI にどんな仕事をさせるか考えられるようになってください」

### 2019.2.17 日経 材料開発に AI 革命、金属など「職人技」より効率的

自動車や情報機器、生活用品など優れた製品の実現に材料の進化はかせない。金属や半導体、セラミックスなどで研究者は経験や勘を頼りに高い機能を出そうと試行錯誤してきた。最近その様子が変わってきた。人工知能 (AI) などの情報技術が最前線で使われ出し、人間では思いつかない成果が出始めている。開発現場はにわかに活気づいている。

(NEC、石田) 挑む課題は、温度差を感知すると電気を流し始める「熱電変換材料」の開発。無駄に捨てられている熱を有効活用する期待の技術。しかし変換効率が低く価格も高いため、人工衛星のような特殊な分野でしか使われていない。安価で効率の良い材料ができれば、爆発的に普及が見込める。優れた材料を開発するにはどんな条件が重要か、AI で導き出そうとした。様々な種類がある熱電変換材料のうち、構造が簡単でコストを下げる点で優位性のある「スピルゼーベック素子」を選んだ。この素子は白金や鉄、ニッケル、コバルトなどの金属を混ぜて作る。配合の比率を変えた多数の合金を作り、それぞれの特性データを収集。AI に学習させるなどで導き出した結果は、白金の中で生じる磁気的な性質に関わる指標だった。全く予期していない知見だった。これを新たな指針として改良を重ねると、変換効率を 5 年で約 10 万倍高めた。白金よりも安い金属を使った素子も試作し、実用化も視野に入ってきた。小型センサーなどに取り付ける長期間利用可能な電源が有望だ。

材料に関わるデータを AI などを組み合わせて新材料を開発する手法は「マテリアルズ・インフォマティクス」と呼ばれる。米政府が 2011 年に推進策を打ち出して以降、世界で研究が活発になっている。

無限と見える物質の組み合わせの中から役に立つのはどれか。見つけ出すのは容易ではない。組成や構造などに応じて強度や耐腐食性をはじめとする性質は大きく変わる。材料研究者は実験と考察を繰り返し、経験を積んで求められる特性を備える材料を開発してきた。職人技の世界だったと言える。マテリアルズ・インフォマティクスはそれ r を塗り替える力を秘めている。

## 2018.12.14 日経 AI活用まず「人間中心」、政府、個人情報保護など7原則、国際ルール策定に名乗り

政府は13日、AIの活用法を話し合う「人間中心のAI社会原則検討会議」を開いた。個人情報保護や説明責任などAIを使う際の7原則をまとめた。「人間中心」を第一に掲げ、国家が主導してデータを集める中国との違いを示した。2019年の20か国・地域（G20）首脳会議で発信し、国際ルール策定に関わる狙いだ。7原則には①人間中心②AIの判断が差別的にならないように判断過程を説明③個人情報の慎重な扱い④公正な競争環境の確保などを盛り込んでいる。「国などの立法・行政機関が留意すべきだ」と強調し、今後の政策作りや法規制、運用の際に順守するよう求めた。パブリックコメント（意見公募）を経て、18年度末に正式決定する。AIは「深層学習」と呼ばれる技術を使い、大量に学習したデータから精度の高い結果を素早く導き出すことができる。一方でなぜ結論に至ったかの過程は外部から分かりにくく、AIの判断基準が「ブラックボックス」になる懸念が指摘されている。企業の採用などで特定の性別や思想・信条を持った人物が差別を受ける可能性もある。政府が7原則を示したことで、民間もAI事業の方向性を定めやすくなる。NEC若目田主幹は「企業がAI源おs丸を具体的なプロセスに落とし込むことが重要だ。産業界でもアジェンダをつくり、個別の活動に適用するのが望ましい」と話す。

AIの開発を巡っては、GAFA（グーグル、アップル、フェイスブック、アマゾン・ドット・コム）と呼ばれる米巨大企業が圧倒的にリードしている。GAFAを追い上げる形で中国はBAT（バイドゥ、アリババ、テンセント）と呼ばれる企業が同様なサービスを拡大している。中国はBATを経由して事実上、国家がデータを管理しており、米国はファーウェイなどの中国製通信機器を通じて機密情報の漏洩リスクを指摘している。日本はこうしたサービスで米中の巨大企業に先行を許してきた。ただ欧州連合（EU）や米国では、個人情報保護などを重視した国際的なルールづくりを模索する動きが出ている。日本政府は今回まとめた7原則はプライバシーやセキュリティなどを前面に掲げており、欧米などとのルール作りの土台になると考えている。

### 【AI原則の概要】

①AIは基本的人権を侵さず、人間中心に開発する②誰もがAIを利用できるよう教育を充実させる③個人情報を慎重に管理する④セキュリティを確保する⑤公正な競争環境を維持する⑥AIの動作について企業は適切な説明をする⑦産官学が連携してイノベーションを生む。

## 2018.11.11 読売 「AIは万能」誇大広告、熱狂から幻滅ブーム下火、状況判断最大の関門

世間には今、AIがあふれている。「AIブーム」のただ中にある。複雑な問題を瞬時に解く「きわめて賢い機械」は、人間の質を高めるばかりか、人間を支配するとの脅威論まで飛び出すほどだ。だが、その実像を冷静に見ると、現時点で期待したほどの万能性はなく、脅威論にも違和感を覚える。イメージが先行した現状のままでは、やがてブームは終わり、AIが社会に定着することはないだろう。

「AIは過度の期待のピークを越え、熱狂が冷める段階に移行しつつある。」。情報技術関連の米調査会社ガートナーの日本法人は10月11日、国内のAI技術への期待感について、こんな分析結果を発表した。同社の「ハイブ・サイクル」という分析によると、AIは昨年、ハイブ（過度な期待感、誇張の意味）のピークを迎え、現在は熱狂が冷め始め「幻滅期」への下り坂に差し掛かりつつある。企業のAIを活用したビジネスは「今後、慎重な姿勢が広まる」と予想した。そもそも「AI」の明確な定義はない。熱狂と幻滅の両極に大きくぶれる原因が、ここにある。

AIという用語は1956年、米国で開かれた国際研究会議で初めて登場した。「人間にしか解けない問題を解く」など抽象的な概念を指していた。AIはそれから70年頃までと、80年～95年頃の2度のブームを迎え、そのたび衰退。今は2010年頃から始まった「第3次ブーム」にあるといわれる。ブームごとに社会のAIに対する認識や研究の主流は異なった。AIの定義は実は、時代とともに変遷してきたのだ。第1次ブームでは、手書きの文字や画像の認識、人間との対話システムなどの能力が期待された。第2次ブームでは、医師の診断など専門の複雑な思考判断を行う「エキスパートシステム」の開発が進められた。しかし、いずれも人間の脳が行う複雑な思考を再現できず、期待感と現実の技術レベルの間に隔たりが目立ち始め、人々の熱は冷めた。ハイブ・サイクルの「幻滅期」に入ったまま、技術が社会に浸透することなく消えて行ったと言える。

現在、AIは二つに分類できる。一つは、人間が「この場合はこうする」というような背制御プログラムを入力し、その通りに動くAIだ。部屋の温度が下がれば自動的に暖める、ごく一般的なエアコンもこれに該当する。ゴミの有無や壁、障害物を認識して臨機応変に掃除するロボットもそうだ。もう一つは、過去のデータを学習して、自ら動作を判断したり、今後を予測したりできるAI。これは「機械学習」と呼ばれ、さらに複雑な計算過程をたどる深層学習が実現した。これがブームの核心だ。

ただ、学習するデータの数や精度などで能力は変わる。ひとくくりにAIと呼んでも、実は玉石混交だ。あるAI開発企業幹部は「大した高度ではなくても、国の予算獲得や、マスコミの注目を集めるためにAIを名乗るものがあまりにも多い」と憤り、こう嘆く。「AIの定義がはっきりとせず、誇大広告のようにAIという言葉を使い続ければ、社会の失望を買い、技術の高いAIまで見放されてしまう」。国際標準化機構（ISO）などは今年4月、AIや関連用語の定義について米中韓など約20か国で協議を始めた。最終決定にはまだ時間がかかる見通しだ。

AIへの過度な期待感が高まる一方、「AIが人の仕事を奪う」「いつか人の能力を超え、反乱を起こす」とどと得体のしれない恐怖心を覚える人もいる。だが、人工知能学会の前会長で国立情報学研究所所長の山田教授は「AIはまだ人間の2歳児の知能にも満たないレベル」と語る。AIにはまだできないことが多い。まず指示されたことしかできない。世界を見る「フレーム（枠組み）」を自分で設定できないことから「フレーム問題」と呼ばれている。AI研究最大の難関だ。人間社会でAIが仕事をしたり、人と対等に渡り合ったするに

は、大量の情報を取捨選択し、的確に状況を判断する柔軟性が必要だ。人間の子どもでも毎日なにげなくやっているこしたことが、AIには難しい。「判断の根拠を説明できない」ことも問題だ。AIが様々な判断をしても計算過程が複雑すぎて、人間は、AIがなぜそう考えたのかの因果関係がわからない。山田教授は「この問題が解消されれば、AIの応用の幅は一気に広がるにだが」と話す。AIは今後、社会に定着していくのか。あるいは過去2回のブーム後のように忘れ去られてしまうのか。社会がAIの実態を正しく知り、長い目で向き合う姿勢も重要である。AIブームの過ぎた今から数年間、真の定着への正念場だ。

### 日経 2018.6.24 AIが打ち破る言葉の壁 分野の枠超え、同時通訳も視野

コンピューターによる言語の翻訳性能が急速に高まっている。AIで現在隆盛の技術、深層学習を取り入れたのがきっかけ。専門用語への対応や同時通訳など、より高度な機能の実現も視野に入ってきた。一人ひとりが翻訳機を持ち、言葉の壁がなくなる日が近づいている。

NTTコミュニケーションズが3月に始めた有料の翻訳サービス「AI翻訳プラットフォームソリューション」は、人間で7時間かかる文章をわずか2分で訳した。速度とともに高い精度も大きな特徴。英語能力検定で高得点をあげた人が訳した文章と専門家が比較した結果、同等という結果。NTTコムやグーグルの翻訳サービスはAIを採用した「ニューラル機械翻訳」と呼ばれ、ここに採用された深層学習の手法は、英語などの外国語と日本語の文章の訳し方の適切さを分析するのに有効で、翻訳精度の向上につながっている。

これまでの統計的機械翻訳の技術は、目的の単語をその周辺の単語を含めてどのように訳すかを決めている。部分部分は間違っていないが、全体としてたどたどしい訳になるがち。これに対して、ニューラル機械翻訳は文全体を対象にして訳を決める。より流暢な訳が可能になっている。総務省はこの技術を発展させ、言葉の壁をなくして世界との交流を促す「グローバルコミュニケーション計画」を掲げている。現在の機械翻訳は日常生活などには高い精度を誇る。しかし法律や金融などの専門分野では学ぶのによい訳文の量が少なく、うまく訳せないことが多い。様々な分野の訳文を集めて学習できれば、この問題を解決できる。情報通信研究機構は17年9月、企業などから翻訳データを受け付ける仕組みとして「翻訳バンク」を新たに作った。当面1億文を集めるのが目標。医療は翻訳データが足りない分野の一つ。情報機構は製薬大手のアストラゼネカと共同研究契約を結び、データの提供を受けた。・・・さらに情報機構は機能の高い機械翻訳を合わせて開発する。まず特許や医療など各専門分野に特化した機械翻訳を作り、後で一つにまとめる計画を立てている。現在の汎用的な機械翻訳は専門用語の訳に十分対応できない。例えば「study」は日常会話では「勉強」でよいが、医療分野になると「治験」の意味で使われることが多い。独特の言い回しを学ぶ必要がある。特化した機械翻訳を統合したのち、入力文に応じてどの翻訳に任せればいいのかを割り振るプログラムを作る予定。情報機構は20年ごろの完成を見込む。

機械翻訳を会話に応用する要望も強い。人の話を聞き取り文字に変換する音声認識がカ

ぎを握る技術になり、この分野でも深層学習を採用した AI が威力を発揮し、AI スピーカーなどが実用化された。機械翻訳と音声認識の技術を組み合わせ、日常会話から様々な専門分野にも対応できる優れた機能の翻訳機が、やがて登場するだろう。

最後の難関は同時通訳。会話を機械翻訳する場合、現在は話し終えてから翻訳を始める逐次翻訳がほとんどだ。会話中にどうしても空白時間ができ、円滑な意思疎通を妨げる。文が長くなるときは、正確さを保ちながら短く区切って訳す必要もある。情報機構は 20 年以降、同時通訳を本格的に研究する。同時通訳者の脳で起きている情報処理の仕組みを学び、25 年までに開発にメドをつける考え。外国語を学んでも、思うように話したりしっかりと聞き取ったりすることは、なかなか難しい。言葉の壁を痛感している人もたくさんいるだろう。機械翻訳はその壁を取り払い、よりよい意思疎通を可能にしてくれる。そんな未来が見通せるようになってきた。

### 日経 2018.5.28 青学大にシンギュラリティ研究所、AI 社会、文系の目で考察、働く場 激変を危惧、多角的に影響検討（青学学長三木義一氏）

AI が社会に及ぼす影響について文系学部の視点から本格的に研究を始める。

シンギュラリティ（技術的特異点）とは、コンピューターの性能が全人類の知性の総和を超える時点をさし、一般には 2045 年ごろに到達するといわれている。

最近の文系学部は誠に肩身が狭い。それでなくても、あまり役に立たない学問分野だと批判されるのに、昨今の金融機関の大規模人員削減計画や AI による事務作業の劇的効率化の事例を目のあたりにすると、文系学部の卒業生の職場はいずれ激減するかもしれないと心配になる。少し前までは、法曹界のような専門職は AI に負けないといわれていた。依頼者である人間は嘘をつくので AI では対応できない、と考えられていた。しかし、最近は AI の方が嘘を発見する確率が高いので、AI に任せた方が裁判も公正かつ迅速になるという説もある。法学部でさえ存立が危うくなるかもしれない。

しかし、だからといって文系の教育・研究は本当に不要になるのだろうか？テクノロジーが加速度的に発展している今、理系技術者はますます目先の技術の開発に目を奪われていないだろうか。すぐに役立つ人は、技術の急速な進展のために、すぐに役立たない人になることはないのだろうか。AI の進展が人間社会に何をもたらすべきなのか。そもそも AI が本当に人間の知能を超えるシンギュラリティ現象を生み出すのだろうか。様々な疑問がわいてくる。

さらに、情報テクノロジーの発展が民主主義をポピュリズムに変質し始めている。AI が人間の仕事を奪うなら社会の富の格差は格段に広がりそうだ。どうしたら、社会は安定的に発展できるのか。そのためにベーシックインカムを制度として導入すべきなのか。

自動運転車が自己の乗客を守るために、他車の乗客を事故死させたら、誰がどのような責任を負うのか。ロボットを人と見なす（べきな）のか。遺伝子操作はどこまで許されるのか。仮想通貨はどこまで運用する（べきな）のか。現金取引はいつまで続くのか、図書館は図書館であり続ける（べきな）のか。自動翻訳の劇的進化や双方向通信機能の飛躍的

な上昇は大学の授業を変えるのか。課題や疑問点が次から次へと浮かんでくる。急速なテクノロジーの進化が私たちの社会や生活にどのような影響を及ぼすのか。予測するのは難しい、むしろわからない、といったほうがいい。実は、わからに問題、答えが1つではない問題を検討するのは文系学問の得意技でもある。その意味ではAIは文系大学・学部こそが挑戦すべきテーマなのである。シンギュラリティと呼ばれる現象と人間・社会の関係を人文科学・社会科学の角度から多角的に検討してみることは、文系の大学・学部の使命と言ってもいい。

マクレディ所長は「大人の基本的性格は子供の時に決められるように、自立したAIが何をするかは現在の「成長期」のAIによってきめられていく。私たちが期待する未来を実現するには、我々がどのような社会を求めているのかを改めて確認す、AIがもつ「倫理」を検討していく必要がある」・

単に未来を予測するのではなく、積極的に関わり、あるべき未来社会の創出に努力するというのが、基本的な研究姿勢なのである。

文系学部にとってAIは教育でも取り組むべき喫急の課題である。ハーバード大学」の有名なコンピューターサイエンス入門の授業「CS50」のようなプログラミング教育を導入して、優秀な文系人材がより良き未来の形成に関与できるようにすることも必要かもしれない。さらに、シアトルで活躍している日本人起業家との連携を模索したところ、百周遅れの日本の大学の現状に危機感を持つ有志たちが協力してくれて連続記念講演会を開き、世界の現状を共有することになった。開催済みの講演会には予想以上に大勢の学生が参加してくれた。

文系学部はそれぞれの専門性を高めるとともに、すぐには社会で役立たない感性や総合判断力を鍛える学問領域でもある。そうした学問分野がシンギュラリティ現象下で長期的にも全く役立たない無用の学問なのか、それとも実は、こういう分野の研究こそが人間の基礎を支える重要な役割を果たしている。研究所の活動を通して試されることにもなろう。もちろん、筆者としては、文系の学問が後者の機能を有し、この研究所の活動がこれからの若者の社会より明るいものにすることに貢献することを願っている。

### 【人材どう育成、大学に変革迫る】

AIやロボットの発達には社会の仕組みを大きく変えることになる。野村総研とオックスフォード大学は、今後10~20年の間に日本の労働人口の約49%が就いている職業がAIで代替可能だと推計している。特別の知識・スキルが不要な職業やデータの分析や秩序的・体系的な操作が求められる職業は代替可能性が高く、抽象的概念を整理・創出する知識が必要な職業、他者との協調・理解・説得・ネゴシエーション、サービス指向性が求められる職業は代替が難しい。AI時代を生き抜ける人材を育てるために、大学はハード・ソフトの両面での対応を迫られている。

日経 2018.6.4 手術ロボにも得手不得手、医師を支援、「代わり」は果たせず、説明聞き特徴を理解、国産の開発活発に

## 日経 2018.3.11 事務用ロボ、日本でも普及、単純作業を代替「RPA」、労働時間減に一役、仕事の7%消える？20年、働き手再教育、急務

日本企業のオフィスに自動化の波が押し寄せている。起爆剤はパソコンを使う単純作業を自動化するソフトウェア「RPA（ロボティック・プロセス・オートメーション）。工場で起きたような自動化の動きがホワイトカラーに及ぶ。変化に対応するには人間が創造的に働いて仕事の付加価値を高められるような人材教育や法制度の整備が不可欠になる。「人間への負担が大きく、面白くなくても、間違っただけではいけない仕事がある。RPAはそれを間違いなくこなして人間を助けてくれる」。1年前からRPAを導入している大和ハウス工業の推進室長は、決算集計や勤怠管理などの作業を、人手からRPAに置き換えた。単純作業が少なくなるとミスも減り、業務効率が上がっているという。

RPAは鍵盤を自ら動かし、あらかじめ覚えた曲目を演奏する自動ピアノのようなイメージ。パソコンに組み込むソフトウェアでキーボードやマウスの動きを代替する。定型化した単純な事務作業を担うためロボットと呼ばれている。ウェブ上で資料をダウンロードしたり、必要な情報を入力したりするのが基本機能だ。例えば資材の発注では、タイマー設定した時間に取引先の注文サイトでIDやパスワードを入力してログインし、品目と数量を指定してボタンを押してくれる。日本企業のホワイトカラー業務の6割は定型化でき、そのうち8割をRPAで代替できるとされる。もともとは米英の専門ソフトメーカーが2000年代初頭に開発した。日本ではNTTデータやアクセンチュア、アビームコンサルティングといったIT企業やコンサル大手が導入サービスを2～3年前から広げている。三井住友ファイナンシャルグループは約200業務に取り入れて年間40万時間の作業を削減済み。今後1500人分の業務量にあたる300万時間以上の削減につなげる。サントリーホールディングスは今年に入りグループ主要会社のデータ入力など200業務に順次導入し始めた。年間ベースで社員の時間外労働時間の約5%削減をめざす。オリックスグループ、エイチ・アイ・エスなど大手企業が一斉に取り入れ、導入事例の数だけを見ると日本が10年の遅れを埋め、既に欧米各国を上回ると見られている。国内で急速に浸透した理由は働き方改革が進んでいるためだ。優秀な人材を確保するためにも労働時間の削減が欠かせず、そのツールとしてRPAが経営者の目に留まった。ソフト1つの構築費用が数十万～100万円程度と数億円の専用システムより投資を抑えられることも利用を促している。昨年7月にRPA構築サービスを始めたNECは500社から問い合わせがあり数十社が採用した。引き合いは中堅企業に広がっている。

「RPAにより、人間はいずれ決断を下すだけになる。1人の業務範囲は3倍になる。」。アビームコンサルティングの安部さんは言う。単純作業の時間を削れば、企画や営業など人間の知恵や感性を駆使する領域に人材を配置できるとアピールする。国際競争に勝つためにもRPAや人工知能の活用は欠かせない。日本は高学歴化に伴いホワイトカラー志向が高まっているのに、生産性の改善は不十分だ。製造業の雇用は1992年の1400万人が足元で1千万人に減る一方、ホワイトカラーは3千万人弱と就業者の半分を占める。日本生産

性本部によると、日本の付加価値額（国内総生産）を労働者数で割った労働生産性は経済協力開発機構（OECD）加盟 35 か国中、21 位にとどまる。夜遅くまで働いても 1 人が生み出す価値額は欧米に及ばない。OECD は日本の労働力人口の 7%が携わる仕事が 20 年までに自動化により消え、さらに 22%の仕事の内容が大幅に変わると予測している。

日本の一般事務職は 18 年 1 月の有効求人倍率（パートを含む）が 0.41 倍と供給過多が顕著だが、開発技術者では 2.38 倍に達している。情報処理・通信技術者は 2.63 倍だ。こうした分野に集中的に人材を配置するため、職業訓練や人材教育で政府の後押しも必要になる。今はあらゆる産業で人手が不足し、機械に仕事が奪われる事態は表面化していない。決められた仕事をこなして時間単位で給与を受け取る働き方を快適と感じる人も多い。しかし、景気が後退して雇用が悪化する局面を迎えれば、求人は付加価値の高い仕事に集中するようになる。RPA や AI が浸透する今後、成果に応じて賃金を決める「脱時間給」のような制度は欠かせなくなる。ただ多様な働き方を促す裁量労働制の拡大は国会に提出する働き方改革関連法案から除外された。与野党の攻防よりも、ホワイトカラーの生産性向上を促す議論が求められている。

#### 日経 2018.3.10 つながる家 AI スピーカー活躍、声が動かす日常、映画を準備、照明好みに

自宅の玄関ドアや家電をネットにつないで便利に暮らすスマートハウスが、簡単に低価格で実現できるようになってきた。スマートホンに加え、人気の AI スピーカーで操作できることから IT に関心の高い 20 代から 40 代を中心に興味を持つ人が増加。中古マンションのリノベーションや賃貸など、様々な住まいに合わせた提案も増えている。

#### 空間おしゃれに

「ただいま」。都内の会社員、日高さんが仕事から帰ると、飼いならした猫の「きなこ」が玄関前で待っている。秘密はリビングに置かれた対話型ロボット「BOCCO」（ボッコ）。日高さんのスマホの位置情報と連動し、自宅に近づくと「もうすぐ帰ってくるよ」と事前に文字情報で登録した音声をきなこへ伝える。ボッコはロボットベンチャーのユカイ工学の製品。スマホやセンサーと連動し、スマホから送ったり、録音したりした内容をしゃべる。日高さん宅を手がけたリノベーション会社のリノベるは、2016 年からスマートハウスの取り扱いを開始。案件全体の 1~2 割を占める。玄関の鍵と照明をスマートハウス対応するには、「通常のリノベーション費用に加え、おおむね 10 万円程度みておけばいい」。フィリップスライティングジャパンが展開する「Hue（ヒュー）」はスマートハウス用の照明として人気を集める。スマホや AI スピーカーを使って調光・調色ができる。スマホアプリと連動させ「南国風の照明」「キャンドルのように揺れる照明」といったおしゃれな空間を作り出せる。17 年の売上は前年と比べ 3 倍以上に伸びた。16 年 10 月に自宅をスマートハウスにした大阪の竹内さんはリビングの照明をヒューで統一。モーションセンサーと連動させて点灯や消灯を自動化した。「1 日 1 分の時間節約でも積み重ねるとすごい量になる」。外出前に一斉に電気を落としたりといった使い方もできる。

市場 5 年で 4 倍

マウスコンピューターは 17 年 8 月からあらゆるモノがネットにつながる「IoT」機器のシリーズ「mouse スマートホーム」を販売している。家庭のテレビやエアコンなど家電製品や照明器具を IoT 化する商品だ。管理に使う端末やセンサー、ライトなど 5 点セットのスターターキットは、手軽に自宅をスマート化できる。こうした機器の司令塔として活躍するのが AI スピーカーだ。……

## 日経 2018.2.28 AI と働き方 (下)、代替議論に「タスク」の視点、技術導入の影響、日米で差

人工知能によって雇用が失われるのではないかという議論がある。英オックスフォード大のカール・ベネディクト・フレイ氏とマイケル・オズボーン氏の米国についての推計に始まり、日本についても、両氏を招いた野村総研や、仏ナンテール大のバンジャマン・ダビッド氏によって似た結果が出された。近い将来、半分程度の仕事がロボット、コンピューター、AI などの「キカイ」にとって代わられるという予想である。

この推計値自体は、賃金の変化や必要な投資などを考慮しておらず、ヒトがキカイより安価であればいくらかでも小さくなり得る。現状の技術的上限值だと考えた方がよく、半分程度という数字自体に本質的意味はない。この議論が提起したより重要な論点は、労働市場を「タスク」で考えるという視点である。タスクとは簡単にいえば、人々が働いているときの動作や行為、例えば、腕の筋肉を使っている、目を左右に動かしている、ヘッドセット越しに交渉している、予想をしている、などの様々な行為を指す。あらゆる仕事は個別のタスクとそれを遂行する時間に分解できると考えるのが、100 年前の米経済学者フレデリック・テイラー以来のタスク分析の出発点である。フレイ氏らの推計をより正確に表現すれば、どのタスクがキカイに代替されるかを推測し、タスクの束として定義される仕事の消失確率を算出しているとまとめられる。タスクとは分解された動作や行為を指すので、ヒトが遂行していたタスクがキカイに代替されるという表現は実際にもイメージしやすい。

このタスクの視点から労働市場の全体像を解き明かした金字塔は米マサチューセッツ工科大のデビッド・オーター教授らの研究。彼らは様々なタスクを頭脳的と身体的、定型と非定型の 2 つの軸、計 4 グループにまとめ、さらに頭脳的非定型タスクについては独力で遂行できる分析型、協力しながら遂行する関係相互型に分け、合計 5 つのグループに集約した。そして米国について各グループのシェアを算出し、1960 年以降の推移を示した。

彼らのタスク分析を日本に応用したのが筆者と、現在滋賀県副知事を務める池永氏の共同研究。図は筆者らの研究結果から、60 年から 2005 年までの日本の経済での 5 つのタスクのシェアの推移を示したものである。オーター教授らの米国についての分析結果と比較すると、日本で際立つ特徴は、①60～70 年代でも定型タスクが減っていたこと②全期間を通じて身体的非定型タスクが常に増えていたことである。60～70 年代は、ロボットが製造現場に導入されていった ME (マイクロエレクトロニクス) 化の時代だった。米国では熟練工が解雇され非熟練単純工に置き換わり、定型タスクのシェアが増大した。いわゆる熟練

の解体が起こり、最近の AI 導入による雇用喪失の恐怖感は理由がないわけではないことがわかった。米国で定型タスクのシェアが減少に転じるのは、ようやく 80 年代以降の ICT (情報通信技術) 化の時代になってからである。つまり、タスクのシェアの動向という観点からは、米国の労働市場は 80 年代以降と 60~70 年代とはまるで違う世界が現出した。それだけ、ICT 化の影響は強烈だったのである。他方日本では、70 年代の ME 化の時代にも、配置転換を多用しつつ熟練工は温存された。熟練の解体は起こらず、製造ラインの前線は「タテ (多工程) 待ち」と呼ばれる多能工が担当するように変化した。タスクのシェアをみても、日本の労働市場は 60 年代以降緩やかに連続的に動いており、ME 化と ICT 化の間に質的な断絶はみられない。日本において、ICT 化が ME 化の延長として進められた可能性を示している。日米のもう 1 つの大きな違いは、身体的非定型タスクのシェアが、米国では 60 年代以降一貫して減少したのに対し、日本では逆に一貫して増加した点である。典型例として保安職や運輸職を想定すると理解しやすい。筆者らはまだ確かな原因を見出しではないが、自営業セクターの衰退に伴う潤沢な労働供給と関係すると推測している。総務省の労働力調査によれば、自営業主・家族従業者は、60 年時点で就業者の 47% を占めていた。その後、直近の 16 年の 11% まで景気動向とは関係なく減少し続けている。逆に言えば自営業セクターから被用者セクターに労働者が流入し、被用者市場は継続的に潤沢な労働供給を受け続けたと考えられる。この現象のもう一つの表現が、非正社員の増加だったというのが筆者の別の持論なのだが、非正社員の拡大が日本において身体的非定型タスクの拡大の受け皿になったというのが、今のところの仮説である。

ここで日米でのタスクのシェアの推移の違いが示している重要な点をまとめておく。まず、技術導入の労働市場への影響は、タスクレベルでさえ両国で異なり得る。本来、タスク分析の地平に立てば、ヒトとキカイの代替関係は工学的な意味で普遍的である。しかし現実には、その代替関係が常に実現するとは限らない。技術は労働市場の需給メカニズムを経由して初めて実現されるからである。ヒトとキカイのどちらが安いという観点は AI 時代でも変わらず重要なのである。とくに、膨大な開発費が必要な AI の実用化では、規模の経済の概念の重要性が増す。様々なタスクの組み合わせで成立している仕事の中から、特定のタスクを抜き出して集約することで規模の経済を確保し、AI に代替させるという開発戦略はすでに成功例もあるだろう。しかしその成否は、特定のタスクが抜き出された後のタスク編成の効率性にも依存することを忘れるべきではない。もともとタスク編成が何らかの最適化の結果だとすれば、抜き出されたタスクはそれなりの手順の関係にあったはずで、分割されたときに効率性を発揮できるとは限らない。AI が素直に職場に進入できない理由の一つでもある。逆に言えば、丸ごと AI と代替される可能性が取り沙汰されるのは、すでに特定のタスク群を切り出してまとめることでビジネスを成立させている場合だといえる。

最後に、日本の特殊事情として、タスク分析があまりなされていないことを指摘しておきたい。実際、筆者らが依拠したタスク評価ツール「キャリア・マトリックス」は旧民主

党政権の事業仕分けで廃止されたまま、日本ではツールが開発・改訂されていない。この意思決定に政策当局や労使双方のみならず経済学研究者までも関わっていた事実は、タスク分析をムダとする考え方が日本社会に普及していることを示している。効率的にタスク編成された仕事に、タスクの遂行能力で評価された人材をマッチさせるというよりも、一般的な能力に優れ、どんなタスクでも一定の遂行能力が期待できる人材に任せるという現場が多いのかもしれない。だとすると、タスクを切り出しビジネス化するのには容易ではない。タスクが先かAIが先かというわけではないが、日本の労働市場にAIが普及するには、まだ越えなければならない壁がいくつかある。

### 日経 2018.2.26 AIと働き方(上)「人事」でデータ活用力磨け、新たな統計的差別避けよ

多くの日本企業が働き方改革に取り組む中、人工知能など新しいテクノロジーの役割に注目が集まっている。生産性改善のための救世主と期待する声もある一方、労働者の雇用と尊厳を奪う警戒すべき対象と捉える向きもある。その評価には時間がかかるものの、社会的厚生を高める方向で円滑な利用が進むかどうかは、利用する側の英知次第である。

現在提供あるいは提案されているAIの人事面での応用は、大別して3つの領域に分類できる。1つ目は業務の効率化。人間の作業をAIで代替することで工数を削減し、情報収集コストを低減させるようなサービスである。例えば、採用における書類選考や人事など社内サービスへの問い合わせをAIが代行する。2つ目はマッチングの効率化である。面接の画像や口述記録、適性検査結果などの情報を最大限活用しAIに判断させることで、採用における面接者のバイアス(ゆがみ)を排除し、最適マッチングに向けた学習を可能にする。社員の人材配置についても同様に過去の業務・評価の履歴や本人の申告するキャリアプランの希望を用いて、最適な人材配置を提案するサービスが研究されている。3つ目が人的資本投資の効率の改善を狙った能力開発のカスタマイゼーションである。これまで社内での人的資本投資は、上司や先輩による職場訓練(OJT)と画一的な研修の組み合わせであった。これに対し、本人の希望や社内のキャリアパスに合わせて受講すべき研修を提案したり、本人の実際の仕事の様子を録画してAIが改善点を判定したりするサービスが現実に登場してきている。こうした新技術への関心は、単に技術進歩によって利用可能になったという供給側の要因だけでなく、需要側にもこうしたサービスの価値を高める構造変化が生じている。本節では、2つの構造変化要因に焦点を当てたい。

まず少子化によって採用側の人材獲得難はますます深刻になっていく。基本的に、採用には2つの異なる種類の間違ひがある。単純化すると、Aさんという応募者がいるとき、Aさんが会社に貢献する、あるいは貢献しないという2つの排他的な現実があり得る。これに対し、企業は採用する、または採用しないという2つの選択肢がある。この時、2つの正しい決定がある一方、「貢献しないAさんを採用する」あるいは、「貢献するAさんを採用しない」という2つの間違ひがある。統計学の用語を援用して、前者を第1種の間違ひ、後者を第2種の間違ひと呼ぶ。

日本の企業は従来、第1種の間違ひを最小化することに注力してきた。終身雇用を前提

とすれば、貢献しない人を採用すると非常に高いコストがかかるためだ。さらに人事部が集権的に採用してきたことも大きい。第 1 種の間違いは目に見えるので、人事部が採用して現場に配置すれば人事部に苦情が殺到する。このため採用担当者は第 1 種の間違いの最小化を目指す。しかし、多くの企業が人材獲得難に陥る中、第 2 種の間違いのコストは着実に上昇している。特に創造力やリーダーシップを持つ人材への需要が高まり、多様な人材の取りこぼしを避けたいという経営側の意向も強い。AI を用いた採用ルーツが多数商品化されつつあるのは、こうした需要面の変化が大きい。

2 番目の重要な構造要因として、人事の分権化が挙げられる。従来日本の企業では幅広い経験と社内人脈、そして忠誠心を持つゼネラリスト集団の育成を人事部が集権的に担ってきた。しかし、グローバル化に伴い迅速な資源配分が求められるようになると、現場では専門知識を生かして効率的に業務を遂行できるスペシャリストへのニーズが高まり、集権化した人事部の経済合理性が薄れている。加えて社員のキャリアパスやニーズが多様化し、ワークライフバランスやメンタルヘルスに配慮した業務配分や人材配置が求められるようになり、現場が深く関与しない人事施策の運用が難しくなっている。そのため本社人事部が担ってきた採用、育成、配置に関する権限を事業部に移管する動きが加速している。このような人事の分権化が進行し、管理職に求められるスキルの水準が上がる一方、いびつな年齢構成の下、後輩へのコーチングやメンター（指導者）の経験を十分に積まないまま管理職に昇進する社員も多く、要求されるスキルと保有するスキルの間にギャップが生じている。管理職が担うべき育成・配置業務の支援ツールが多数考案されているのは、人事の分権化と無関係ではない。

しかしながら新技術は誰でも使える訳ではなく、弊害が全くない訳でもない。普及の過程で、使う側の能力や意識の向上に関心が向かうだろう。まず指摘できるのは、使う側にある程度、統計的な素養とデータ分析の経験が求められるということである。現時点での AI は大量の情報の中から隠れた相関関係を拾うの得意である。しかし因果関係やメカニズムの特定にまでは踏み込まず、最終的には AI が提案してきた内容を人間が判断する必要がある。加えて、多くのデータ活用には、計画誤差や統計的バイアスがつきものである。結果や判定がどの程度の誤差を含み、どのようなバイアスの可能性があるかを理解して使わないと大きな間違いを犯すことになる。こうした判断力を持つには、人事制度に関する知識に加え、統計リテラシーというべきデータ分析のセンスと経験がものをいう。また、機械学習を使ったツールは、基本的に教師サンプルを必要とする。例えば採用における書類選考を AI に任せる場合、過去のエントリーシートと束とそこから誰を選抜したかという記録を与え、属性や志望動機の記述と合格の間にある関係を AI に学ばせる必要がある。この時、過去の意思決定はおおむね正しかったということが前提となる。仮に過去の選抜は、評価者の偏見に基づく判定も多く、多数の優秀な応募者の取りこぼしがあった場合、AI も同じ間違いを再生産することになる。そのため AI を導入する際には、過去の採用プロセスをまず評価することが必要となる。現在書類選考に AI を取り入れている企業

のうち、一体どれだけの企業がこの評価を行っているのだろうか。

最後に、HR（ヒューマン・リソース）テクノロジーへの期待の陰で見過ごされかねないリスクを指摘したい。近視眼的なデータ活用は、従業員や応募者の差別につながりかねないという点である。多くの適性検査がストレス耐性などメンタルヘルスのリスクを計測する質問項目を入れている。AIによる人材配置の提案にしても、過去の業務履歴が将来の職種適性を規定するとすれば、最初の差別が長期的なキャリア形成に大きな影響を与えかねない。男女雇用機会均等法から女性活躍推進法までの歴史は、女性は辞める確率が高いという過去の事実をもとに肯定してきた統計的差別をなくす戦いでもあった。データ活用が新たな統計的差別を生み出すことになってはならない。何を目的としたAI活用なのか、データ活用はどこまで許されるのか、明確なガイドラインの確立に向けて産学官で議論すべき時が来ている。

### 日経 2018.2.27 AIと働き方（中）、多様なフリーランス台頭、技能再教育の機会重要に

「ソサエティー5.0」という日本政府提唱による科学技術政策の基本方針（2016～20年度）がある。狩猟社会、農耕社会、工業社会、情報社会から数えて5番目の人間中心の社会に備えての国家戦略がうたわれている。工業社会は動力による産業革命により実現され、情報社会はコンピューターとインターネット、すなわちICT（情報通信技術）により実現された。基本方針では人工知能と、様々なモノがネットにつながるIoTを駆動源として仮想空間と現実空間を高度に融合させたシステムを実現し、経済発展と社会的課題の解決を両立する社会を目指すとしている。工業社会以降の人類の歴史はオートメーションの恩恵を受けてきた。英国の労働生産性は1750年を100とすると2015年は1500になる。米国の製造業の労働人口は1979年を100とすると15年には約半分の53となる一方で、生産量は2.2倍になった。農業は20世紀でも最も自動化の影響を受けた産業だろう。米国の農業従事者は19世紀中ごろは総労働人口の60%を超えていたが、現在は2%に満たない。一方で生産量は直近50年で2.5倍となっている。90年以降急速に進んだ情報社会では、会計処理、給与計算、文書管理などの定型的な事務業務の自動化がICTにより実現された。

問題は自動化の進化の速度だ。これから起きる自動化は情報社会のそれより広範囲かつ迅速に進むだろう。12年頃から深層学習に代表されるAI技術と、IoTによる医療・介護・建設、交通、農業など非IoT産業からのデータが出現するようになり、不可能と思われていたレベルの自動化が進もうとしている。人の認知・思考を模した複雑な処理、例えば医療画像診断、食品加工、車の運転、融資審査などの業務で自動化が実現されつつある。IoTとは、工作機械の制御システムや橋梁や列車に装着されたセンサーがインターネットにつながるという表層的な意味ではなく、コンピューターとは無縁だった産業の事業運営がいや応なしにAIによる自動化の対象になることだと理解した方がよい。雇用を議論する観点から、IoTの応用である機械制御を表す言葉として「ロボティクス」を用いる。興味があるのは、AI・ロボティクスにどれだけ労働市場が影響を受けるかだろう。昨年、米マッキンゼー・グローバル・インスティテュートの報告は、既存技術でも60%の職業で少なくとも

30%の業務が自動化できる可能性があるとした。そして30年までに全世界で最大3分の1、中位推計で15%の雇用が自動化によりAI・ロボティクスに置換されると予測している。この30年を想定した職種と自動化の関係を、筆者の理解で図にまとめた。職業を構成する業務が知識労働か作業労働か、定型か非定型かで単純化して象限を4つ分けている。知識労働と作業労働の軸は、自動化がソフトウェアだけで実現できるのか、それともロボットも必要かという違いを表している。ハードウェアの実装を伴う作業労働の自動化は、費用対効果の判断が難しく簡単ではない。

定型・非定型とは、その処理が予測可能かどうかである。決まった処理の繰り返しならば、予測可能で、そうでなければ予測不可能だ。定型処理の典型は会計や農作物の選別作業などで、それぞれ第Ⅲ、第Ⅳ象限に属している。この図には大きな仮定がある。今後20年間、AI・ロボティクスは「人が持つ、突発的で予測不可能な事態にも対応できる能力」を持ち得ないとしている。小売業の接客担当は当面、ロボットに置き換わらないだろう。支払いや配送の手配などの定型処理は自動化できるが、顧客の気まぐれに付き合い要望を聞きだすのは人にしかできない。人に残される職種は、非定型処理がある第Ⅰ、第Ⅱ象限だ。そこでは自動化がその業務を代替するのではなく、自動化がその業務を補助し、分担する領域となる。人の補助者であるAI・ロボティクスとどう付き合うかが今後の働き方の議論になる。例えば、医療画像診断は自動化が目覚ましいが、それが読影医の仕事を奪うのではなく、読影医がAIの力を使って画像診断の高精度化を実現していこう。人手不足が深刻な介護士を補助するAI・ロボティクスの技術開発は喫緊の課題である。AI・ロボティクスにできること、できないことを知るAIリテラシーの教育が必要になる。

自動化は様々な職種の存廃に直接的にかかわるだけでなく、実現される新たな経済活動により間接的に働き方や雇用形態も大きく変える可能性がある。ソサエティー5.0時代では需要と供給の高度なマッチングが可能になる。それを象徴する現象がシェアリングエコノミー（共有型経済）だ。駐車場にある自家用車、空き部屋、普段身に付けない服と宝石、個人の労働可能時間を融通すれば、社会システムの効率化が進む。これが特定の企業や団体に属さずに働く「フリーランス」が増えていることに関係している。米国では今年の統計によるとフリーランスが総労働人口の36%に相当する5730万人に達し、27年には50%を超えると予想されている。その内容は均一ではない。フリーランスの4人に1人以上は定職に就けないという負の動機を持っている。1200万人のフリーランスが登録するという米アップワークで紹介する職種は、ソフトウェア開発、法務事務、データ解析、意匠デザインと独立性の高いものがある。一方、米ウーバーテクノロジーズが運営する配車サービスの運転手もフリーランスだが、配車先の選択と料金を配車サービスのプラットフォーム（基盤）に依存する従属性が高い個人事業といえる。その中で、独立性の高い、起業家志向のフリーランスにおいて、仕事に対する価値観が変わろうとしていることに注目したい。働きたいときに働き、興味のあることに時間を割くという自己裁量の動機は以前からあった。近年は、将来の不確実性が増す中、1つの組織に勤めるより、技能（スキル）を磨きながら

複数の顧客と契約する方が、長期的にはより収入が安定するという見込みがある。

キーワードは技能再教育（リスキリング）だ。これまでは一般に20歳前後まで教育を受け、その教育に基づいて就職先を決め、定年まで働いて一生を終える人が珍しくなかった。そのモデルが自動化が大きく進むソサエティー5.0の時代では成り立たなくなる公算が大きい。起業家志向のフリーランスは短いサイクルでリスキリングをして仕事を選んでいく。これは極端な例だが示唆が多い。これからはリスキリングの機会が常にあるような働き方が必要であり、そのための教育プラットフォームも重要になる。

経済活動の維持・発展のためにAI・ロボティクスによる雇用の変化は必然である。これまでも人類は自動化と付き合ってきた。第Ⅲ、第Ⅳ象限から第Ⅰ、第Ⅱ象限の職種にどのように移動するかや、社会システムの観点でAI・ロボティクスと人との境界をどのように設計するかという視点が必須となる。

#### 日経 2018.1.12 AI、人の心を判断、ソニー、アイボ発売「お手」喜ぶ人には頻繁に

ソニーは11日、犬型家庭用ロボット「アイボ」を発売。搭載した人工知能（AI）によって、どういった行動をすると飼い主の感情が変化するかを学習していく。例えば「お手」をすると特に喜ぶ人に対しては頻繁にするようになり、泣き続けて不機嫌になる人には鳴かなくなる。AIの進化は、人間の心を読む段階に入ってきている。

鼻に搭載した画像認識カメラ、頭部や下あごのタッチセンサー、音声認識の3つから、アイボに接した時の感情や気持ちの変化といった人の「情報」を得る。タッチセンサーはなでられたかどうかに加えてその強さも認識し、飼い主の感情の判断に役立てる。笑顔なども自動で検知する。情報を蓄積し、本体内蔵とクラウドの2つのAIシステムで分析する。例えば、声が普段より強く大きかったり内容が乱暴だったりした場合に怒っていると判別。かまってくれる人はカメラで顔を覚え、ランク付けする。上位の人ほどよく寄り添い、構ってくれないといじける。開発を主導した川西執行役員は「服従ではなく感情があるロボットだ」と話す。家族で飼っていても個別に認識するため、相手によって動作が少しずつ変わり、1台ごとの個性が生まれる。AIで1台1台が個性を磨きつつ、他人の「アイボ」からの情報を活用することで「アイボ」という商品全体としても賢くなる仕組みを実現している。AIで感情を読み取る技術の開発は産業界で加速している。凸版印刷と企業向けITを手がけるシーエーシーは顔の表情から「喜び」や「怒り」など7種類の感情に分類するシステムを開発。商品を選んだ消費者の感情を店頭で解析し、

#### 日経 2018.1.4 スマホよさらば、AIイヤホン万能執事

11年前、米アップルのスマホ「iPhone」の登場で世界の風景は一変した。電車の中で、赤信号の前で、そして道を歩く最中でも人々は下を向く。10年後、私たちはこの風景を懐かしく思うだろう。イヤホン型情報端末「ヒアラブル」の登場。視線は真っ直ぐにあらゆる情報は耳から注ぎ込まれる。政治家や経営者、芸能人でなくとも、私たち一人ひとりが情報のバトラー（執事）を持つ時代の到来だ。「おはようございます。熱が下がったようですね」。2030年、起床した僕はイヤホンをつけると女性の明るい声が聞こえる。声の主は僕

専用の AI。内蔵センサーが健康状態を把握して 1 日の予定と家を出る時間、電車の時刻、仕事にありがたいニュースを次々と案内してくれる。スマホと違って身支度する手はふさがらない。家を出ると同僚からのメッセージが聞こえ、それに声で返信する。駅では自動改札機に触れずに入場、運賃は口座引き落としだ。電車内では電子看板と連動した音が流れる。朝一番の仕事はインドネシア人の上司と、言葉は瞬時に訳される。・・・

## 日経 2017.8.8 AI は何をもたらすのか下、「汎用型」実現で成長加速へ、最低所得保障通じ再配分

ポイント；30 年には汎用 AI 実現し労働の大半代替、純粹機械化経済では成長率が年々高まる、ベーシックインカムなき AI は悲劇を招く

AI が未来の経済に与える影響について、近年活発に議論されるようになった。AI の議論の際には「特化型 AI」と「汎用 AI」に分けて考える必要がある。特化型 AI は一つのタスク（業務）しかこなせない。Siri（シリ）のような音声操作アプリや囲碁 AI のアルファ囲碁など既存の AI はすべて特化型だ。一方、汎用 AI は人間のようにあらゆるタスクをこなせる。一つの AI が囲碁をしたり、会話をしたり、事務作業をしたりする。汎用 AI は研究開発の途上であり、この世にまだ存在しない。汎用 AI の研究開発をリードする日本の非営利組織「全脳アーキテクチャ・イニシアティブ」は、2030 年には実現のめどが立つという展望を示している。汎用 AI が実社会に導入されるようになれば、経済に対するインパクトは計り知れないものとなる。人間の労働の大部分が汎用 AI に置き換えられるからだ。特化型 AI は特定の職業やタスクを代替するにすぎず、質的にはこれまでの機械と変わらない。だが汎用 AI は人間の従事する多くの職業にとって代われる。汎用 AI にかかるコストが人間の賃金を下回れば、実際に汎用 AI や汎用ロボットが人間の代わりに雇用されることになる。そうすると、経済の基本的な生産構造が根本的に覆される。生産構造とは、生産活動に必要なインプット（投入要素）と、それにより生み出されるアウトプット（産出物）との基本的な関係である。約 1 万年前から始まった「定住革命」は、狩猟・採集から農業中心の経済への転換をもたらした。主なインプットは土地と労働、アウトプットは農作物となった。次に 18 世紀後半に起きた最初の産業革命により、英国をはじめとする欧米諸国は工業中心の経済に転換した。主なインプットは機械（資本）と労働、アウトプットは工業製品となった。筆者はこうした経済を「機械化経済」と呼んでいる。いわゆる産業資本主義のことだ。機械化経済に転換した欧米諸国は、1 人あたり国民所得が年々増大するような上昇路線に乗り、日本を除くアジア・アフリカ諸国は、国民所得がむしろ低下するような停滞路線に陥った。諸国間の経済的な大きな開きは、経済史の分野で「大分岐」といわれる。機械化経済は、キャッチアップの過程では日本の高度経済成長期のように 10% を超えて高い成長率を実現するが、先進国に追いつき成熟を迎えると 2% 程度の低い成長率しか得られなくなる。このままでは、日本で再び高度経済成長期のような高い成長率を実現することはない。だが汎用 AI の出現は、成熟した国々の経済成長に関する閉塞状態を打ち破る可能性がある。汎用 AI を含む機械のみが直接的な生産活動を担うようになれば、イン

プットは機械のみとなり、人間の労働は必要なくなる。そうした経済を筆者は「純粋機械化経済」と呼んでいる。この経済でも、新しい商品の企画・開発や生産活動全体のマネジメントなど、間接的には人間も生産活動に関わり続けるだろうが、以下の結果に変わらない。純粋機械化経済について数理モデルを作って分析すると、成長率自体が年々上昇するという結果が得られる。成熟した機械化経済では、年々ほぼ一定率で1人あたり所得が成長していくが、純粋機械化経済では成長率自体が年々成長していく。従ってもし汎用AIを導入し生産の高度なオートメーション化を進める国とそうでない国があれば、図のように成長率に大きな開きが生じる。未来におきる可能性のあるこの分岐を筆者は「第2の大分岐」と名付けている。ただし、図の上昇路線については供給側の要因しか考えていない。純粋機械化経済であっても、需要制約により成長が伸び悩むどころか、経済全体がシュリンク（縮小）する可能性もある。というのも、汎用AIなどの機械のみが働く無人工場を所有する資本家が高い収入を得る一方、多くの労働者が失業して所得を得られなくなるために消費需要が減少するからだ。

それを回避するには、「ベーシックインカム（基本所得、BI）」のような大規模な所得分配制度が必要だ。生活に最低限必要な所得を国民全員に保障する制度である。例えば毎月7万円といった一定額のお金を国民全員に給付する。BIは夢物語ではなく、既にいくつかの欧米諸国で地域を限定した実験が実施されている。フィンランドでは政権与党が導入を目指しており、試験段階にある現在の給付額は約7万円である。日本で毎月7万円を国民全員に給付するには、それにより不要となる生活保護や失業手当などの社会保障費を削減するとともに、所得税率を一律25%程度引き上げなければならない。これは平均的な国民にとってはほとんど負担にならない。国民の負担を考える際には、単なる増税額でなく、給付額と増税額の差し引きに注目すべきだからだ。おおざっぱに言うと、中間所得層では差し引きはおおよそゼロとなる。貧困層では給付額の方が多く、富裕層では増税額の方が多くなる。BIは他の一般的な社会保障制度と同様に富裕層から貧困層への所得の再配分をもたらす。「BIの財源をどうするのか」という問いかけは、そもそも問いの立て方が間違っている。財源は常識的に考えれば増税以外にない。結局のところBIを導入できるか否かは、富裕層が増税に応じるかどうかにかかっている。

BIは労働に対するインセンティブ（誘因）が失われにくいという点で、生活保護や失業保険といった既存の社会保障制度よりも優れている。従ってできる限り早く導入されるべきだが、純粋機械化経済が実現した後ではこの制度は単に望ましいだけでなく、必要不可欠なものとなる。多くの労働者がBIなしに生活を維持できなくなるからだ。こう主張しても、富裕層の増税に対する理解は得られないかもしれない。それでもAIが高度に発達した未来に大規模な再配分がなされなければ、富裕層の所得も減少するということならば、ある程度納得せざるを得ないだろう。

加えて、純粋機械化経済ではBIの実施は一層容易になる。こうした経済に至ると年々成長率が上昇していくような爆発的な経済成長がもたらされるので、得られる税金も爆発的

に増えていくからだ。税額の増大に合わせて給付額を増やすこともできる。未来には月 7 万円のような最低限の給付額にとどめておく必要はない。もし所得の一定率、例えば 25% を BI に充てるというルールを採用した場合、経済成長率と同じような率で BI 給付額は増大していく。過度のインフレに陥らないように気を付けなければならないが、こうしたルールに基づいて給付額を増やしていくことはおそらく可能だろう。こうして BI を拡充させることにより、AI の発達により訪れる途方もなく実り豊かな経済の恩恵を、一部の人々ではなくすべての人々が享受できるようになるはずだ。もし、BI のような社会保障制度がなければ、多くの人々にとって未来の経済は、雇用も所得も得られない暗たんたるものとなる。BI なき AI はディストピア（反理想郷）をもたらしかねない。しかし BI のある AI はユートピアをもたらすだろう。

### 日経 2017.8.7 AIは何をもたらすのか上、「眼の誕生」、産業構造を一変、ものづくりの資産を生かせ

ポイント；AIの画像認識精度向上で機械が眼もつ、機械が活躍する技術革新は日本企業向き、日本企業、事業計画・人事制度に課題多い

5億4200万～5億3000万年前、地球の46億年の歴史から見ると極めて短い間（カンブリア紀）に、現存するすべての生物の大分類が出そろった。原因については諸説あるが、古生物学者のアンドリュー・パーカー氏が提唱したのが、眼の誕生が原因とする「光スイッチ説」だ。それまでの生物には高度な眼がなく、ぶつかると食べる、ぶつかられると逃げるといのように、緩慢な動作をするしかなかった。しかし眼ができると捕食の確率が大きく上がる一方、逃げる側も見つかったら早く逃げる、見つからないように隠れる、擬態するなど戦略が生まれた。つまり眼の誕生により生物の生存戦略が多様化し、多くの種類にわかれたというのだ。

AIの分野ではディープラーニングという技術により、ここ数年、画像認識の精度が急激に上がった。換言すればコンピューターに眼ができたということだ。今後、機械やロボットの世界で「カンブリア爆発」が起きる。眼を持つ機械・ロボットは圧倒的に高性能で多種にわたる。カメラに内蔵されるイメージセンサーは人間の網膜にあたる。人間は網膜で受けた信号を、脳の後部になる視覚野で処理をすることで見えている。ディープラーニングは視覚野の部分の処理に当たると考えてよい。イメージセンサーとディープラーニングが組み合わさり、ようやく機械の眼が見えるようになった。眼のもたらす情報量は圧倒的だ。眼を持つ機械・ロボットは今後、新たなカテゴリーの産業として社会の中で使われるはずだ。既に、機械化されているタスク（業務）の少なくとも数倍以上が自動化・機械化される。その市場規模は、今の機会・ロボット市場の比ではないほど巨大だろう。眼を持つ機械の誕生は、ディープラーニングとものづくりの融合による大きな産業の変化をもたらす。その中で世界的なキープレイヤーに名乗りを上げるのはネット界の巨人ではなく、機械・ロボットを扱うメーカー、産業や建設、外食産業の企業だと筆者は考える。インターネットのイノベーション（技術革新）が米シリコンバレー向きだったのと比べると、機

械やロボットが活躍する今回のイノベーションは、はるかに日本企業向きであることは間違いない。米国やカナダ、英国そして中国の AI、特にディープラーニングの分野での技術革新のスピードはすさまじい。中国はもはや AI 先進国だ。ものづくりの融合領域でも中国とドイツの連携は脅威だ。このままでは日本向きの大きなチャンスを逃しかねない。日本は正しく早く動かねばならない。筆者はもう 3 年もこのことを指摘しているが、その焦りは日に日に増している。

AI を活用する事業では、技術への再投資の仕組みをいかに作るかが重要だ。米グーグルや米フェイスブックは巨大なデータをもち、多くの実験をすることで検索精度を向上させられる。その結果、ユーザー増→データ増→収益増→実験増の循環に入る。いったんこの構造ができると、誰も太刀打ちできなくなる。技術から収益を生み、それを技術に再投資するサイクルをつくらなければ、この競争には勝てない。AI の技術が独占的になりやすいのは、着想から実装、実験までの期間が驚くほど短いからだ。場合によっては数日から数時間単位で、実験は繰り返せる。AI の産業では、再投資の仕組みを最初につくったプレーヤーが瞬時に参入障壁を築き、独占的なポジションを得やすい。医療画像を扱う医療機器や産業用ロボットの世界では既にこうした動きが始まっている。眼をもつ機械とというイノベーションの果実を得ようと思えば、一刻も早くディープラーニングを使った製品を世に出すことだ。ディープラーニングはここ数十年の研究の蓄積を事実上帳消しにした。細かい理論を抜きに、入力と出力をつなげば、多くのデータで学習すれば精度が上がるといふ破壊的なイノベーションをもたらした。この技術についていけているのは基本的に 20 代後半から 30 代の若い研究者・技術者だ。大きな付加価値をもたらすこれらの人材は世界中の企業から引っ張りだこだ。自動運転技術者の報酬は平均 30 万ドル程度、チームリーダークラスになると数百万ドルにもなる。しかし国内ではディープラーニングには習熟した人材でも、給与水準はほとんど変わらない。その理由は 2 つある。一つは企業が事業計画を真面目に立てていない。眼を持つ機械がどういう変化をもたらすのか、きちんと考えている企業が極めて少ない。AI ブームの言葉に惑わされ、技術の本質をとらえていない。従ってどうやってもうけるのか、いくら投資してよいのか、経営判断ができていない。もう一つは社内の人事制度や給与体系が硬直的で、例外が認められない。日本の年功序列は根強い。不思議なのは、日本では設備投資なら高いものでも買えるのに、人には高い給料が払えないことだ。ディープラーニングは極めて真面目な技術だ。数学の知識とプログラミング能力が必要で、理系の優秀な若者に適合する。企業間取引が中心なので、精度を上げる努力を続ければよく、マーケティングのセンスや顧客ニーズの発掘はほとんど必要とされない。給与水準がせめて諸外国の半分まで上がれば、理系の優秀な人材はこぞってこの技術を習得しようとするだろう。

ディープラーニングとものづくりの関係はファンドマネジャーと資産家の関係に似ている。ファンドマネジャーは投資家から預かった資産を増やし、その利益の一部を報酬として得る。眼を持つ機械における「眼」の部分と「機械」の部分の関係もこれに近い。つま

り機械やロボット、それをつくる熟練の技など日本企業が培ってきた「資産」を、「眼の技術」を使って大きく増やす。元手となる「資産」があるからこそ、ビジネスを大きく展開できる。高い給与も、資産価値の向上に対する成功報酬と捉えるべきだ。眼を持つ機械が日本に向いているのは、ものづくりの技術的資産があるからだ。自動車産業はもとより、様々な機械・設備、部品や素材も強い。自動化が難しかった農業や建設、食品加工にもチャンスがある。これらの分野はきめ細かな熟練の技をもっており、レベルも高いからだ。外食産業では調理の自動化が進むはずだ。近未来には自動調理機械でのレシピの配信ビジネスが始まり、顔認識技術と組み合わせて顧客の嗜好データを得られる。味の好み、健康状態、アレルギー、宗教などと合わせ、高いレベルの食を提供するというグローバルな食のプラットフォームを築ける。農業や物流、健康医療とあわせた巨大産業が生まれる。その際、最も重要な資産は日本の食文化の高さだ。ディープラーニングの技術ともものづくりの技術の融合は日本の新しい未来の形を示している。少ない数の若者が高齢者がもつ技術的・文化的・経済的な資産を最大限生かして活躍する。ものづくりの企業は若者を受け入れ、思う存分、力を発揮できる環境づくりを進める必要がある。眼を持つ機械の誕生によるディープラーニングともものづくりの融合は日本のチャンスでもあり、兆戦でもある。少子高齢化が進む中、新しい国の形を世界に先駆けて新していくことが期待される。

#### **眼を持つ機械・ロボットは多様にわたる**

介護施設や病院などでの見守り・介護、医療（X線、CT、手術等）、警備、防犯、顔による認証・ログイン、広告、表情読み取り、入国管理、警察業務、輸出入管理業務、防災系（河川、火山、土砂崩れの見張り）、重機系（掘削、揚重）、建設現場系（溶接、運搬など）、農業系（収穫、選果、防除、摘花・摘果）、自動操縦系（ドローン、小型運搬車、農機、建機）、自動運転系、物流、産業用ロボット系（組み立て加工など）、調理系（外食全般）、片付けロボット（家庭、オフィス、商業施設）、新薬発見や新素材の開発（遺伝子の認識：分析、実験）、廃炉系（深海や鉱山、宇宙も含めた極限環境）

#### **日経 2017.8.7 AI 普及仕事どうなる、人間の能力も拡張、対面スキル重要に、かわらぬ学問の基礎、身に付けよう（東大・暦本教授）**

AIの急速な進化が社会を変えようとしている。2045年にはAIが人間の能力を超えるとされる「シンギュラリティ」が起きるといわれるほか、人間の仕事の多くがAIに奪われるとの予測も出ている。今の大学生、高校生が社会の第一線で活躍する頃、AIと人間の関係はどうなっているのか。東京大学の暦本教授に聞いてみた。

AIの普及で「多くの人の仕事が奪われる」という予測が話題を呼んでいますが、私は現状では「AIが人に置き換わる」という見方はしません。むしろ人にとって非常に便利なツールです。ただ、その「便利さ」が従来のITとは次元が異なります。例えば、これまで熟練した専門医でなければできなかった「レントゲン写真からがんを発見する」仕事をコンピューターが実行できるようになります。この点では、人間が持つある種の「専門知識」はAIに置き換わるでしょう。だからといって「医者」という職業がなくなるわけではあり

ません。がんを発見するだけでなく、患者と接して心身の両面からサポートすることが医師の大事な仕事だからです。医師の仕事のうち、これまで過去の経験などに頼っていた一部の業務が「AI をツールとして使いこなす」ことで代替されていくというイメージです。ただ、人の果たす役割や医療産業の在り方がリストラクチャリング（再構築）されることにはなるでしょう。米国の調査で、「AI に置き換わる可能性がある」という調査結果が話題になった「弁護士」も同様です。過去の判例を検索する業務などはAI が担うでしょう。「裁判」の在り方も大きく変わると思います。しかし、依頼者とのコミュニケーションなど、人間同士の交流が大きな要素を占める部分を置き換えることはできないと考えます。

5月に米グーグルのAI「アルファ碁」と、世界最強とされる中国の柯潔（か・けつ）九段との対局がありました。実は同じ会場でアルファ碁と人間とのペア2組による対局が実施されました。AI と人がコンビを組んで交互に打つという競技です。人がAI の能力を最大限に引き出せるかどうか勝負の分かれ目になります。チェスでも同様の試みがあります。1997年に米IBMのスーパー・コンピューター「ディープブルー」が当時のチェス世界チャンピオンに勝利した後、「アドバンスドチェス」という新たな競技が始まりました。対局中に人間がコンピューターで差し手を調べながら戦う競技です。このように医師や弁護士もAI を使いこなすことが求められる「アドバンスド医師」や「アドバンスド弁護士」といった形に変わるかもしれません。囲碁では、アルファ碁の登場で「AI が人間の囲碁棋士の能力を超えた」といわれる一方、「AI の手を参考に新たな定石が生まれる可能性がある」という意見も出てきています。AI によって人間の囲碁に対する能力が引き上げられるという考え方です。

AI は人に対抗するものではなく、人間の能力を拡張する可能性の方が高いと見ています。こうした考えの下、私たちは「拡張現実（AR）」の次の段階として「拡張人間」という研究テーマに取り組んでいます。AI などの技術と人間を一体化させることで、人間の知覚や認知、身体といった能力を拡張するという研究です。人間の能力拡張に向けて、あらゆるモノがネットワークにつながる「IoT」の次の段階である「IoA（インターネット・オブ・アビリティ）」の時代が到来すると見ています。IoA は私たちが提唱している概念で、人や機械が時間や空間の制約を超えて相互に能力を強化し合うネット環境のことを指しています。技術革新によって職業の在り方や社会が大きく変わる中、次代の担い手である若者にとって特に重要なのは、「変化しないこと」を見極める力だと思います。例えば、どんなにAI が進化しても数学など学問の基礎が変わることはありません。こうした不変の知識や能力をきちんと勉強して身に付けておけば、社会の変化にも柔軟に対応できるでしょう。

#### 読売 2017.7.22 キレル AI 制御せよ、「ブラックボックス」化課題

AI（人工知能、Artificial Intelligence）への期待が膨らむ。金融、医療、製造など様々な分野で活用しようという試みが進む。一方で、やがてAI が人間の能力を超える、などと危ぶむ声も聞こえてくる。期待される理由や課題を、長年コンピューター研究に取り組んでいる西尾大阪大学長に聞いた。

AIとはどういうものか。「人間の脳の作業を、コンピューターとソフトウェアで実現する技術だ。人間がソフトで指示を出すと、それに従ってコンピューターが膨大なデータを使って高速で計算して答えを出す。コンピューターが自分で学んで答えを出すこともできる。

一体どうやって学ぶのか。「人間の脳のメカニズムを模倣した「ディープラーニング（深層学習）などの方法を使う。ソフトの指示通りに何段階も計算を繰り返すうちにコンピューターは規則性を学ぶ。するとソフトの指示とは別に、自ら判断基準を作って答えを出すようになる。今、AIが注目されるのは、それを可能にする技術環境が整ったからだ」。

どういう環境か。「まず計算に使えるデータが爆発的に増えた。信頼性のあるデータをたくさん使って計算するほど、正しい答えになる」

どれくらい増えているのか。「米企業の調査によると、2013年の世界のデータ量は約4.4兆Gバイトだった。1Gバイトは書籍1000冊ほどの情報量に相当する。これが、20年には44兆Gバイトになると予想されている。128Gバイトのデータを保存できる厚さ7ミリのタブレット型端末を重ね合わせると、13年は地球から月までの距離の3分の1のところまで。それが20年には、6.6倍になると言われている。

すごい量だ。コンピューター的能力も相当高くないといけない。「そうだ。コンピューターの計算速度は、1年半ごとに倍増すると言われてきた。だが、実際にはそれ以上の速さで向上している。関連機器の価格もどんどん安くなっている」

「膨大なデータと高速計算を駆使して脳のように作業するので、人間より生産性が高くなる場合がある。AIが仕事を奪うのでは、と言われる理由だ」

技術的な課題はもうないのか。「いや、大きな課題がある。AIの「ブラックボックス」をどうするかだ」  
「AIがなぜそういう答えを出したか、人間がその過程を検証できない、つまりブラックボックスになる場合がある」  
「英企業が開発したAI「アルファ碁」は、昨年3月に韓国のプロ棋士に、今年5月には世界最強と呼ばれる中国人棋士に勝った。ただ、AIが人間には理解できない手を打つ場面もあった。囲碁だけでなく、他分野でも似たようなことが起きている」

そういえば、「AIが突然キレル」と表現する人もいる。しかし、人間が追いつけない、理解できないだけで、AIは正解を出しているかもしれない。「そういう面もある。一方で間違った答えを出したり、人間がコントロールできない発展の仕方をしたりしないかが気になる。実用化するほどそういう場面が出てくる。例えば車の自動運転だと、なぜそう判断したかを説明できないようでは危険だ」

ブラックボックスはなくせないのか。「ソフトで指示しえど、AIが答えを出した過程をすべてチェックすればいい。しかし、そんなソフトを作成するのは難しい。作成できても、コンピューターの計算速度が遅くなり、実用的ではなくなる。ここをどう改善するかが、大きな研究課題だ」

海外ではブラックボックスをどう見ているか。「問題にしている。大事なのは国際的な対応だ」  
「AIは単体で存在するだけでなく、やがてインターネットにつなが

り、世界規模で影響を及ぼすようになる。昨春、高松市で開かれた先進7か国（G7）情報通信相会合でも、ブラックボックスが議題となった。日本はこの会合でAI開発の国際指針作りを提案した。今年6月に総務省がそのたたき台の案を公表した。

どういふ案か。「AIが下した判断の結果を説明できること。AIを制御できること。などに留意するよう開発者に求めた。今後、国内外で合意形成を図っていく」

「留意する」や「指針」では、強制力がない。それでいいのか。「強制力にこだわると、逆にAIの発展を阻む恐れが出てくる」なぜか。「研究者や企業が委縮する。また、透明性を持たせるには、知的財産や企業秘密との調整が必要だ。制御可能かを確認するのにも、時間とお金がかかる。こうした点をどう考えるかだ。ただ、ブラックボックスを意識して取り組むことが、倫理面からも欠かせない」

信頼確保へ知恵必要

人間から仕事を奪うと不安視される一方、なぜそう判断したかが人間にはわからない。AIが日常生活に入り込んできたら、いっそう深刻化しそうな問題だ。

採用試験でAIに不合格にされたら、銀行ローンの審査をAIに不可にされたら。もちろん人間の判断の下でも起こりうる。だが、AIがそう判断したと告げられても、すんなりと納得できないのが人間だ。安全、安心、信頼をどう確保するか。AIの思考過程の「透明化」も含めて、各国の専門家の英知を集める時代に入った。

#### 読売 2017.7.16 「コレハ人間」瞬時に識別、何の画像か自ら学習、古典、現代文字に変換

人工知能が近年、めざましく進化している。その大きな要因となっているのが、人間が対応できないほど大量の画像データを自動処理する「画像認識」の精度向上だ。AIによる画像認識は、森林火災など異変の監視や自動運転など様々な分野で応用が期待されている。

人は画像に写っているものが犬なのか、猫なのかを容易に見分けることができる。しかし、従来のコンピューターは、耳や目の配置など特徴のパターンを人が細かく教えてあげないと、そんな簡単な画像さえ見分けることが難しかった。だが近年、深層学習と呼ばれる新たな手法により、大量の画像をもとに特徴を自ら学んだAIが、初めて見る画像に何が写っているかを瞬時に見分けられるようになってきた。

産業技術総合研究所人工知能研究センターの中村チーム長らは、米地質調査所（USGS）などが運用する地球観測衛星「ランドサット8号」から日々送られてくる大量の衛星画像に何が写っているかを自動的に判別するAIの開発に取り組んでいる。

ランドサット8号は毎日、地球を14.5周し、通常のカメラや、熱を感知できる近赤外線カメラなどで地上を撮影している。産総研のチームは、近赤外線の画像で1000度以上の熱源が検知された物に着目。同じものを写した通常の衛星画像を「草原や森などの火災」「火山活動」「製鉄などの工場」「海上の油田施設」などと研究者が分類したうえで、計屋久1800枚を深層学習でAIに学ばせた。その結果、新たな画像をAIに入力して、写っている熱源が何なのかを70～90%の正答率で分類させることに成功した。AIがどんな特徴をもとに見分けられているのかは分からないが、火口や建物などの形だけでなく、周囲の植生や地形など

の違いを見分けて分類していると、推測できるという。中村さんは「大量の衛星画像を人間が即時に解析するのは不可能。AI を使って、森林火災などの発生を宇宙から自動監視できれば、消火や避難活動に活用できる」と話す。

AI による高度な画像認識は、がんなどを見分ける医療分野や建設物の損傷を見分ける検査など様々な分野で応用が期待されている。とりわけ大きな期待が寄せられているのが、早ければ 2020 年代にも実現されるとみられる完全自動運転だ。自動運転には、車線の位置や信号機の色、道路標識の表示などをカメラの画像から検知する技術が欠かせない。なにより安全な走行には、刻々と変化する路上に現れる物体が歩行者など事故につながるものかどうかを瞬時に画像から判断し、止まるか進むかを判断する必要がある。

また、AI とはなじみの薄かった古典学の分野でも、深層学習による画像認識の研究が始まっている。国立情報学研究所などのチームは、古典に描かれた人物画などから、似た特徴の画像を見つけ出す AI の開発に取り組んでいる。成功すれば、服装や生活ぶりの変遷などで新発見があるかもしれない。豊田高専などのチームも、古文書に使われているひらがな（くずし字）の画像から特徴を学んだ AI が、現代の文字に自動変換する技術の開発を進めている。協力する国文学研究資料館の山本特任教授は「一般の人が古典や古文書を気軽に楽しめるようになる」と話す。

学ぶほど精度向上

画像認識の精度は、学習するデータが多いほど向上する。国文学研究資料館と国立情報学研究所は昨年、古典作品からくずし字を切り取って学習用のデータを作成し、すでに約 40 万文字を公開したという。これまで人の手で現在の文字に変換された古典は全体のたった 1%。古文書に埋もれた先人の知恵を、AI がよみがえらせてくれるかもしれない。

深層学習

コンピューター上に、人の脳の神経回路を模した複数の層を作り、入力された画像や音声データなどの特徴をコンピューター自身が抽出する学習方法。情報を入力する最初の層（入力層）と、結果を示す最後の層（出力層）の間に、複数の中間層を設け、特徴の抽出を何段階も行い、学習を繰り返させる。米グーグルは 2012 年、深層学習を使って AI が大量の画像から猫の判別に成功したと発表し、研究が加速している。

**日経 2017.7.7 AI が担う専門医の「目」、病気の「芽」見逃さず、医師不足解消の一助に**

経験豊富な医師でも見逃してしまうような小さな異常を人工知能がを見つけ出す。そんな AI を使った「画像診断」の技術が近い将来に実現するかもしれない。専門医の学会や半導体大手、ベンチャー企業などが相次ぎ開発に取り組んでいる。専門医不足の解消につながる可能性がある」と期待される。

深層学習で画像診断進歩

「ベテラン医師と同等の AI ができる可能性がある」。こう期待するのは、日本消化器内視鏡学会理事長特別補佐の田中さんだ。胃や大腸などを診る医師が集まるこの学会では、

内視鏡で撮影した画像から AI が病気を見つける研究を 2017 年に始めた。

自ら精度高める

まず進めているのが、画像のデータベースを作ることだ。国立がん研究センター中央病院など全国の 32 の病院から合計で約 32 万件の画像情報を集める。病院では 1 回の診療で 40～150 枚程度の画像を撮影する。

それらに加えて、医師の診断結果や患者本人や家族の病歴といった情報も集める。このデータベースを使い、AI は「ディープラーニング」と呼ばれる方法で自ら診断の精度を高めていく。AI を使った画像の解析は、デジタルカメラで人の顔を検出する機能などにも採用されている。医療分野でも AI を活用した画像診断に期待が集まっている。例えば、富士フィルムは撮影した画像と似ている過去の症例を提示するシステムを実用化している。

最近では自動運転や感情の理解にも使える高度な AI の開発が進んでいる。それを可能にしたのが深層学習だ。従来はデータを AI が分析する方法を人が定義していた。人の脳の仕組みをまねたアルゴリズムが開発されたことで、AI 自らがデータの特徴を見つけ出せるようになった。

消化器内視鏡学会の研究では、AI を育てる際に医師の生の声も盛り込み、専門医の「目」を正しく再現できるようにしている。異常を疑われる患者とそうでない患者を振り分ける機能について、田中さんは「3 年程度で実現できるのではないかと話す。

東京大学発ベンチャーのエルピクセルは脳の血管にできる「動脈瘤」と呼ばれるコブを発見するソフトウェアの開発を進めている。このコブはくも膜下出血の原因となり、早期発見が発症を防ぐカギになる。エルピクセルは約 10 の医療機関から磁気共鳴画像装置 (MRI) による輪切り状の撮影画像と、医師の診断情報を集め、画像から AI に診断の特徴を深層学習させている。ソフト上では血管を 3 次元で表示し、コブができていく可能性が高い部分を赤く示す。既に精度は 90% 以上で、年内にも医療機器の認証を得て臨床試験に入り、19 年の発売を目指している。

このほか複数の学会が AI による画像診断支援の研究を始めている。米画像処理半導体大手のエヌビディアも日本で AI でがんの可能性を見つける技術の実用化を検討するなど、産学で AI による画像診断の支援が活発になっている。

早期発見に期待

調査会社の富士経済によると、国内の医療用 AI の市場規模は 20 年に 98 億円と 16 年の 37 億円の 2 倍超に伸びる。背景には画像診断を担う医師の不足が見込まれることがある。医療費を抑えるため、国は病気の早期発見・治療を促している。国民の意識も高まっており、例えば 40 歳～69 歳男性の胃がん検診の受診率は 16 年に 46.4% と 6 年で約 10 ポイント上昇した。

一方で専門的な技術を持った医師は限られる。消化器内視鏡学会は屋久 3 万 3000 人が所属するが、田中さんは「検診が増えれば対応できないのは明らか」と話す。放射線撮影画像を見る専門医も全国で約 5300 人、画像診断後に細胞を調べる専門医も約 2300 人しかい

ない。

AIによる診断支援や自動診断が実現すれば、医師1人当たりの負担は軽くなり診察もはやくなる。人の目では発見が難しい疾病の兆候に気づいたり、どの病院でも高いレベルの診断が受けられたりといった効果も期待される。

ただ実現には難しさもある。消化器内視鏡学会の研究でAIの開発を担当する国立情報学研究所教授の佐藤は「AIを人のように賢く育てるのは簡単ではない」と話す。例えばAIに大量の家の画像を読み込ませて家の特徴を学ばせた結果、植込みがある建物まで家と間違えて判断してしまうと言った恐れがある。

画像診断装置が広く普及する日本には豊富な画像データがある。うまく活用すれば、世界的にも高度な医療用のAIが開発できる可能性もある。

### 日経 2017.6.2 AI×画像処理でがん診断、米エヌビディア、ゲーム・車の次は医療、「AI、最大産業に」創業者、孫氏と連携

米画像処理半導体（GPU）大手のエヌビディアが日本で医療機器向け事業に乗り出す。病院で使うコンピューター断層撮影装置（CT）などに自社の半導体を組み込み、人工知能（AI）でがんの可能性が高い部分を探し出す。同社はトヨタ自動車と提携するなど自動運転分野で存在感を高めている。高い技術力を医療分野にも応用する。

国内ではエヌビディアと販売代理店契約を結ぶ半導体商社の菱洋エレクトロと共同で、CTやレントゲン機器などを手掛ける医療機器メーカー提案を始めた。既に複数のメーカーが活用を検討しており、2020年までにエヌビディアのAIシステムを搭載する医療機器が実用化する見通し。エヌビディアが得意な半導体とソフトウェアを組み合わせた「ディープラーニング（深層学習）」の機能を応用する。あらかじめがん患者と健常者の膨大なCTスキャンなどの画像をAIに覚え込ませておき、データベースと照らし合わせることでがんの可能性が高い部分を判別する仕組み。高精度でがんの画像を判別し、医師の診断を支援する。大量の画像データの高速処理にエヌビディアが得意なGPUを使う。同社はもともとパソコン向けのほか、ソニーや米マイクロソフトのゲーム機にGPUを提供するなど、パソコンやゲームの愛好家には古くから知られる存在だった。最近では自動運転分野で頭角うい現し、カメラ画像から前方者や歩行者を検知して避ける技術で実績を持つ。5月10日にはトヨタ自動車との連携を発表。高い画像認識技術を医療分野に応用し、新分野の開拓を進める。

医療分野へのAI活用は広がっている。富士フィルムとオリンパスは共同で内視鏡検査で胃がんなど病気の疑いを自動判別する技術を開発する。信州大学や東京医科大学も顕微鏡画像からがんを検知するシステムを開発中だ。半導体メーカー側が医療機器メーカーに働きかけることで、「AI診断」の普及に弾みがつきそうだ。米エヌビディア創業者のジェスン・フアン最高経営責任者（CEO）が、台北市内で日本経済新聞などのインタビューに応じた。同社のGPUは人工知能（AI）発展の鍵を握るとされる。今後の戦略やソフトバンクグループとの関係などについて聞いた。ソフトバンクが立ち上げた10兆円ファンドが約4千億

円の株式を購入しました。「マサ（孫正義社長）は私が知る限り、コンピューター分野のあらゆる革命をを事前に予期した唯一の人物。ファンドの立ち上げも AI が過去最大の革命を起こすと認識しているからこそだろう。エヌビディアの潜在能力を重視してくれたのは素晴らしい」

—特定領域での協業につながりますか。「ソフトバンクは日本での素晴らしいパートナーだ。マサは友人で付き合いは長い。クラウドや自動運転など多くの分野でいつも協力している」  
—米アップルや米グーグルなども自ら半導体の開発に力を入れています。「AI はすべての産業や企業、国に影響を与える。スマートフォン、自動車、ロボット、医療などあらゆる機器が AI を搭載する。AI 産業はいずれは世界最大の産業になる」

### 日経 2017.5.29 2つの AI 競い進化、深層学習の次「敵対的生成」、自ら概念理解実現も

米グーグルの人工知能 AI が世界最強の囲碁棋士を圧倒した。強さの秘密は「深層学習」と呼ぶ技術で、形勢を的確に読む直感に近い判断力を得たことだ。それを進化させた新技術が登場した。この「敵対的生成ネットワーク（GAN）」は2つの AI が競い合って能力を高め、リアルな画像などを作り出す。将来は少ない情報から先を予測したり、AI が苦手な概念を獲得したりするのに役立つと研究者は期待する。

液晶モニターに最初に映されたのは、かつてテレビ放送終了時に流された砂の嵐のような画像。そこにだんだんとイヌの耳や鼻のような輪郭が現れ、最後にはチワワができあがった。早大渡辺教授らが手掛けた GAN 技術の成果。完成したチワワの画像はピンぼけ写真のように見える。しかし、実在するチワワではない。「AI の競い合いによって、作り出された画像だ」と教授は話す。2種類の AI には役割があり、片方は目利きの役のもう一方を騙そうと画像をせつせと作る。目利きの AI は本物かどうかを見抜こうとする。それぞれには、深層学習の機能を組み込んでおり、騙し合いを通じて能力を高める。こうした作業を繰り返すことで、現実存在しそうな画像ができあがる。作文でもリアルな文章ができる可能性があるという。

GAN はグーグルのイアン・グッドフェロー氏が 2014 年に考案した。同社のほか米フェイスブックや米アップルなど世界的な IT 産業や大学が研究に取り組んでいる。米マサチューセッツ工科大学の子会社が発行する「MIT テクノロジーレビュー」誌は 2017 年の AI の 5 大潮流に選んだ。

従来の深層学習では、AI が大量のデータを読み込み、物体などの特徴を自力で見つける。例えば猫とは何かを人間が教えなくても、ひげや耳、目の形、輪郭など画像の中から共通する特徴を探して学習する。囲碁でも大量の棋譜から打つ手の良しあしを学んだ。さらに膨大な自己対戦を繰り返して腕を磨いた。ただ、深層学習の場合でも、画像にあるものが何か、例えば猫なら猫が映っていると示す必要がある。これに対し、GAN は画像の中のものが何かを人間が指摘しなくても学習は可能になるという。

東大の池上教授らは、キャンパスを撮影した動画から本物そっくりな風景を作った。建物や樹木、通路などの特徴をつかんだリアルな描写だ。あたかも、人間が記憶にあるキャ

ンパスを頭の中に思い浮かべているかのようだ。最先端の米国では、ラトガース大学などが「この鳥は白が交った青色で、くちばしはとても短い」といった簡潔な説明文に対応する画像を作る AI を開発した。マサチューセッツ工科大学の技術は 1 枚の写真から次のシーンを予測して動画にする。まだ初歩的な成果で課題は多いが、人間が想像したり、予測したりするのに似た機能を実現できると期待を集めている。このほか、「笑っている女性」から「無表情な女性」を引き「無表情な男性」を足すと「笑う男性」の画像が作れる。「目が笑っていない笑顔から「作り笑い」という概念を理解できるようになるのでは」と京大の大羽講師は予想する。AI は人間と競うことで進歩を証明してきた。これからは AI 同士が鍛え合うことで、概念を自ら学ぶ力を得るようになるかもしれない。GAN はその「突破口になる」と多くの研究者は関心を寄せている。

### 日経 2017.5.26 「脳で入力」夢の 1 分 100 語、一瞬の変化を光学画像に、フェイスブック、新技術挑む

米フェイスブックは 4 月、頭に思い浮かべるだけで相手に意思を伝えるコンピューター技術の開発を進めていることを明らかにした。もしも技術が実現したら、私たちのコミュニケーションのあり方が根本的に変わるかもしれない。夢のような技術を本当に利用できる日が来るのだろうか。

「もしも脳から直接文字をタイピングできたらどうでしょうか」。4 月 19 日、フェイスブック社で研究開発の責任者を務めるレジーナ・デューガンさんは米カリフォルニア州サンノゼで開発者向けに開かれたイベントでこう問いかけた。手振りや映像を交えながら流暢な語りで未来の技術を語った。

#### 機械と脳をつなぎ伝達

何かを見つめる。からだを動かす。どんな行動をする時も人間は脳を活動させている。フェイスブックが開発しようとしているのは、ことばを思い浮かべた時に生じる脳活動の変化をコンピューターで読み取り、他人に発信する技術。さらに、開発に取り組む技術は、脳を読み取ると言っても頭で考えているが勝手に盗み取られる恐れはないという。「写真をたくさん撮っても人と共有するのは一部だけ。それと同じように自分が伝えようと決めたことだけ発信できる」とデューガンさんは付け加えた。

一見すると夢のように思えるが、脳の活動を読み取って意思を伝える技術自体は既に開発が進んでいる。こうした技術は「機械と脳を接続する」ことを意味する英語で「BMI (ブレイン・マシン・インターフェース)」と呼び、主に医療分野を中心として研究されてきた。BMI は大きく 2 タイプに分かれる。1 つが手術を通じて脳に直接電極を刺したり貼ったりして脳の動きを読み取る方式で「侵襲型」と呼ぶ。もう一つがフェイスブックが目指す方式でもある「非侵襲型」で、頭皮の周りに直接帽子のような装置取り付けて脳波や血流などの活動を検知する。比較的データを取得の精度が高い侵襲型の場合、すでに脳の動きから文字をコンピューターに直接入力する技術も開発されている。ただ、フェイスブックが掲げる目標は極めて高い。なかでも多くの専門家が「驚いた」と口をそろえるのは脳の活動

を読み取るスピードだ。当面の目標は「数年以内に脳から1分間に100単語の入力を可能にすること」だとデューガンさんは力を込める。通常、スマートフォンで入力できる文字は英語だと1分で20単語ほど。フェイスブックの目標はスマホの文字入力の5倍で、実に会話をしのぐペースだ。BMIを使った入力は侵襲型で実現しているとはいえ、スピードは1分間で8語ほどだ。フェイスブックが取り組む非侵襲型は、侵襲型より得られるデータが、質、量とも劣る。「頭蓋骨や頭皮に遮られて信号にたくさんの雑音が混ざってしまう」と大阪大学教授の平田は指摘する。そうした非侵襲型でさらに「1分間で100語」という高い目標の実現は困難と考える研究者も少なくない。実現につながる技術はないのか。平田や情報通信研究機構脳情報通信融合研究センターの鈴木が着目するのはフェイスブックがBMIに「光学画像」という技術を使うとしている点だ。

脳波や血流は読み取ったり解読したりするのに時間がかかる。だがもしも脳が動くときに起きるほんの一瞬の変化を高速でスキャンして光学画像を作ることができれば、今とは比べものにならない速さで脳の動きを把握できる可能性があるという。フェイスブックは今のところ、開発に使う詳細な技術や達成までの道のりなどを明らかにしていない。脳活動の一瞬の変化を読み取って光学画像を作る技術も「現状では本当に利用できるのかもはっきりとしない」と鈴木さんや平田さんは話す。

マスク氏も開発競う

一方で期待の声も上がる。慶応義塾大学准教授の牛場さんは「少し前まではスマホがここまで普及し、音声や画像の認識技術が向上するとは誰も想像しなかった。今後の人工知能(AI)の技術革新などによって実現する可能性は十分にあるのでは」と話す。

フェイスブックはすでに半年前から技術開発に着手、医療機関や大学などの研究者が参加して60人体制で研究を進めているという。さらに米テスラの創業者でもあるイーロン・マスク氏も侵襲型のBMI装置を手掛ける新会社を設立するなど米国での開発熱は高まっている。今はまだ夢のような話に聞こえるが、いつか脳で考えるだけで意思を伝える技術を当たり前利用できる日が訪れるかもしれない。

### 読売 2017.5.5 論点 考えるには人間、AIの限界

人工知能(AI)が注目されている。今や人間の脳に近い高度な処理ができるようになった。人間はAIとどのように付き合っていけばよいのか。AIを人間社会に有効活用する例がある。AIによって、人間の「幸福感」を高められることがわかってきたのだ。

日立製作所は10年以上にわたり、企業など組織の(仕事の効率を示す)生産性を高め、働く人々の幸福感も向上させる方策を研究してきた。企業の従業員に名札型のセンサーを首から下げてもらい、仕事時の体の動きを計測する。その結果、生産性が高いときの微妙な体の動きの特徴をつかむことができた。

具体的には、まず1~3か月ほど名札型センサーを付けともらう。センサーは赤外線を送受信し、体の微妙なゆれ動きを測定する。従業員どうしが対面した際、誰と誰がいつ、どのくらいの長さの会話をしたかが記録される。会話をしている時の体の動かし方を測るこ

とで、話が盛り上がっているかどうか分かる。こうした体の動きが従業員に多く表れる組織では、生産性が向上し、人間関係も円滑になりやすく、本人も幸せだと感じやすいことがわかった。

この研究成果を利用して組織を活性化するサービスも提供している。銀行や航空会社、製造業など 20 社超に導入し、現在まで 1 万人以上対して計測を行った。測定の積み重ねで、組織内の誰と誰が近い関係にあるといった人間関係や、組織が活性化されている度合いなどのデータを得られる。顧客企業から「組織全体の活性度を高めたい」「部門間や上下の関係を密接にしたい」といった相談を受け、データを踏まえて助言する。例えば、あいさつを増やすなど意識改革を促したり、出勤時間のルールを変更してもらったりする。通路を広くするなど社内の空間を変えてもらうこともある。こうした改善と測定を繰り返す。するとさまざまに組織内の人間関係が円滑になり、組織が活性化して生産性が向上していく。人間関係も良くなりやすく、幸福感も高まっていく。ただし、AI には限界がある。

AI は設定された目的に向けてデータを処理しているだけだ。AI が自ら考えることは難しい。考えるのは人間の仕事だ。加えて、AI は数値化できる問題は解決できるが、「曖昧な問題」は解けない。現実の社会で人間がぶつかるのはあいまいな問題ばかりだ。このため、人間が AI に多くの仕事を奪われることはあり得ない。ましてや人間が AI に支配されることはない。人間が AI の仕組みを理解し、活用することが重要だ。人間が自動車にのることで行動範囲を広げ、自らの力を拡大したのと同じだと思えばいい。

#### 日経 2017.4.26 AI 社会は信用できるか

「日本に来たことはありますか」。パソコン画面越しに尋ねると、スペイン人女性が答えた。「何度も行きました」。私は日本語、彼女はスペイン語だが、問題はない。会話は人工知能 AI によって、互いの母国語にリアルタイムで翻訳されているからだ。

米マイクロソフトは今月、「深層学習」という最先端の手法を用いてビデオ通話サービスの翻訳精度を上げた。新たに日本語を加え主な 10 言語に対応する。改良の余地はあるが、日常の用途なら結構、役立つ。試してそう感じた。

日本政府は 2020 年の東京オリンピックまでに AI を使った同日通訳システムを実用化するというのが、コンピューターが人の言葉を巧みに操る時代はもうそこに来ている。米アマゾン・ドット・コムは筒形スピーカーは「アレクサ」呼ぶ AI を搭載し、話しかけるだけで音楽を再生したり、ニュースや天気を調べたりできる。米国でヒット商品となり、アレクサと連動する自動車や家電も急増中だ。20 年には人は配偶者より AI と会話する方が多くなる。米調査会社ガートナーは予測する。

スマートホンの「iphone」が 10 年前に登場し、コンピューターはタッチ操作が当たり前になった。今度は音声だ。両手で他の作業をしながら、歩きながらも操作でき、IT 利用のすそ野はさらに広がる。家庭や職場での利便性向上に期待が膨らむ。かといって、手放して喜んでばかりもいられない。SF のような社会に落とし穴はないのか。SF 作家の星新一に「声の網」という作品がある。コンピューターによる医療診断、個人の好みの分析。

1970年に書かれたとは思えない正確さで、IT社会の進展ぶりを言い当てている。ただし明るい未来とは言い難い。電話網でつながったコンピューターは、人々の会話を聞き、個人情報のため込む。ときに電話をかけ「秘密をばらされたくなければ\*\*せよ」と人間に迫る。やがて萎縮し、無難な行動や発想に慣れていく人々……。監視による平穏が不気味な読後感を残す。「そんなバカな」とは片づけられない。AIが意思を持ち支配者になるとは思わないが、使い方を誤れば、社会に不信を抱く。とくに2つの問題がきになる。

まずはプライバシーだ。「その人の感情、年齢、教育水準。声から分かることは膨大にある」。対話型AIを開発する米国のベンチャー企業の幹部があかす。この会社は接客用のAIを企業に供給する。顧客は自分に最適なサービスを受けられる半面、知らないうちにデリケートな個人情報や吸い上げられる恐れがある。さまざまなシステムに音声操作が組み込まれた世の中では、認識ミスによる誤作動トラブルも予想される。利用者とシステム会社の間で「いった」「言わない」の争いが頻発するかもしれない。「証拠を残そうとなんでも録音することになればプライバシーへの懸念が生じる」。国立情報学研究所の佐藤副所長は指摘する。もう一つの心配は倫理だ。AIは大量のデータを教材に能力を養う。学習の仕方によっては、偏見に満ちた邪悪な存在になる。

翻訳で成果を上げるマイクロソフトにも苦い経験がある。1年前、ツイッターで人と対話を楽しむAI「テイ」を公開した。ところが、ほどなく暴言を吐くようになる。悪意ある人たちが不適切な発言を教え込んだからだ。テイは運用停止に追い込まれた。デビッド・ハイナー副社長は自戒を込めて話す。「例えば人種差別的なデータを学べばAIも人種差別的になる。社会が抱える問題をAIが拡散させかねない」。

AIは自動運転車や介護ロボットを実現し、社会をよくする力を秘める。一方、AIがある問いに答えを出したとき、その理由を人間は検証しきれない。つまりAIの有効活用には慎重さが要る。どの分野でもAIを使うのか。歯止めはどうするのか。利用のルールをつくるため、社会的なコンセンサスを探ることが欠かせない。AIを開発するIT企業には優秀な人材がそろっている。だが、事は技術論にとどまらず、すべて彼らのさじ加減まかせとはいかない。企業の唯我独尊は危うい。無料対話アプリのLINEは今や2億人以上が使い、家族や友人との私的なやり取りの固まりだ。メッセージの中身は暗号化し、運営会社のLINE自身ものぞけない仕組みにしてある。

「気持ち悪いサービスと思われたら、使ってもらえない」と中山執行役員。個人情報の保護に関して不安を抱かせないか、利用者の目線でサービスのあり方を毎週点検している。大学教授ら外部の識者と、安心を生む法制を研究する財団も作った。今年夏にはスマホの次を見据えてAIスピーカーを売り出す。中山氏は言う。「新しい製品についても利用者はどう感じるのか、アンテナを張らなければならない」。人と対話するAIのような高度技術を扱うIT企業には、社会と対話する姿勢を求めたい。AIを巡る課題や自社の悩みをオープンに話し合う。そういう透明性が企業の信頼を高め、信用できるAI社会の土台となる。私たち利用者も漫然とサービスを使っているとはいけない。「大事なデータを預けるのに値する

誠実さがこの IT 企業にはあるのか」。厳しく選別する目を持つことが、AI 時代を生きる心得だろう。

### 日経 2017.4.23 ロボットと競えますか、日本の仕事、5 割代替、主要国トップ

人工知能の登場でロボットの存在感が世界で増している。日経と英フィナンシャル・タイムズ (FT) が実施した協働の調査研究では、人が携わる約 2 千種類の仕事 (業務) のうち 3 割はロボットへの置き換えが可能ながわかった。焦点を日本に絞ると主要国で最大となる 5 割強の業務を自動化できることも明らかになった。人とロボットが仕事を競い合う時代はすでに始まっている。

日経と FT は、読者が自分の職業を選択・入力するとロボットに仕事を奪われる確率をはじき出す分析ツールを共同開発し、22 日に日経電子版で公開した。米マッキンゼー・アンド・カンパニーが 820 種の職業に含まれる計 2069 業務の自動化動向をまとめた膨大なデータを日経・FT が再集計し、ツールの開発と共同調査を活用した。

#### 丸ごと自動化

調査の結果、全業務の 34% に当たる 710 の業務がロボットに置き換え可能と分かった。一部の眼科技師や食品加工、石こうの塗装工などの職業では、全ての業務が丸ごとロボットに置き換わる可能性があることも判明した。ただ、明日は我が身と過度に心配する必要はない。大半の職業はロボットでは代替できない複雑な業務が残るため、完全自動化できる職業は全体の 5% 未満にとどまる。

19 世紀の産業革命に始まる製造業の歴史は、自動化への挑戦そのものだった。200 年を経た今、AI の進化が新たな自動化の波を起こしつつある。マッキンゼーによるとエンジンを組み立てる工場労働者の場合、77 ある業務の 75% が自動化できる。部品の組み立てや製品の箱詰め作業などだ。GM は世界各国に合計 3 万台のロボットを導入しており、うち 8500 台のロボットは稼働情報を共有して生産ラインに故障の前兆がないか AI が目を光らせている。自動化の流れは、難しいとされたホワイトカラーや事務系職場にも押し寄せる。米通信大手の AT&T は顧客の注文の文書化やパスワードのリセット作業など 500 業務相当をソフトウェアロボットで自動化している。データ抽出や数値計算は人より高速にできるため「2017 年末にはさらに 3 倍に増やす」計画だ。

ホワイトカラーの象徴といえる金融機関でも自動化が進む。事務職では 60 ある業務のうちファイル作成など 65% がロボットに代替できる。米ゴールドマン・サックスでは 00 年に 600 人いたトレーダーが株式売買の自動化システムに置き換わり現在は数人に減った。著名投資家ジム・ロジャーズ氏も「AI が進化すれば証券ブローカーなどの仕事は消える」と断言する。一方で意思決定や計画立案に関わる仕事、想像力を働かせる仕事はロボットの苦手分野だ。最高経営責任者 (CEO) など経営幹部には 63 の業務があるが、ロボット化が可能なのは業務進捗表の作成など 22% にとどまる。俳優や音楽家など芸術関連の職業も 65 ある業務のうち自動化対象は 17% にすぎない。

#### 人手不足の解

今ある業務を自動化される割合を国別に比較すると、日本はロボットの導入余地が主要国の中で最も大きいことが明らかとなった。マッキンゼーの試算では、自動化が可能な業務の割合は日本が 55%で、米国の 46%、欧州の 47%を上回る。農業や製造業など人手に頼る職業の比重が大きい中国（51%）やインド（52%）をも上回る結果となった。日本は金融・保健、官公庁の事務職や製造業で、他国よりもロボットに適した資料作成など単純業務の割合が高いという。米国などに比べ弁護士や官公庁事務職などで業務の自動化が遅れている面もある。米国の大手法律事務所では膨大な資料の山から証拠を見つけ出す作業に AI を使う動きが急速に広がっているが、日本はこれからだ。

一部の職場ではすでに雇用が失われ始めるなどロボット化に負の側面が確かにある。それでも生産年齢人口が 50 年後に 4 割減の見通しの日本では、ロボットに任せられる業務は任せて生産性を高めることが国力の維持に欠かせない。

### 日経 2017.4.23 ロボ脅威論を超えて、問われる使いこなす力

ロボットは人の雇用を奪う反面、導入した企業の生産性を高める。効果が期待できる。マッキンゼーは、ロボットの活用が進めば世界全体の労働生産性を年間 0.8%~1.4%高めることが可能になると分析する。脅威論を克服し、ロボットを使いこなせるかどうか、国家、企業、個人それぞれの競争力を左右する。

#### 人の仕事生む

豪大手銀オーストラリア・ニュージーランド銀行はインドの事務作業を自動化し、1日に処理できる契約件数を増やすことに成功した。顧客データの抽出や移し替えなどを自動化し作業効率を高めた。マネージングディレクターは「データの最終確認などロボットの活用で結果的に人の仕事も増えている」と話す。

産業ロボット大手、独ケカの米国法人社長は「ロボットはデータサイエンティストなど新たな仕事を生む」と話す。すでに一部の自動車メーカーの工場では、ロボットが生産・販売状況などのデータを適切に処理するよう監視する「ロボット管理者」の仕事が生まれているという。企業がロボットの活用を進めるのは、業務の効率化や正確性を高めるためだ。単純な繰り返し作業などロボットが得意な分野は思い切って自動化し、従業員には創造性や付加価値の高い業務に集中してもらおう。ロボット化が新たな業務を生むケースも出始めた。こうした積み重ねが企業の生産性を高めることになる。

#### 賃金下押しも

国際ロボット連盟（IFR）は 2015 年に 163 万台だった世界で稼働する産業用ロボットの総台数が 19 年末には約 260 万台に膨らむと予想しており、自動化の勢いにはグローバルで強まる一方だ。

こうした動きに比例する形で、雇用を脅かすやっかいな存在としてロボットをみなす声は欧米を中心に高まっている。米マサチューセッツ工科大学の研究者らは 3 月末、千人の労働者に対して 1 台のロボットを投入した場合、5.6 人分の雇用が失われるとの論文を発表した。ロボットが賃金の下押し圧力にもなることも同時に指摘した。

特に米企業はトランプ政権の誕生で雇用問題には敏感だ。雇用を奪うのは貿易かロボットか。そんな議論が米国では始まっている。雇用不安の広がりを防ぐには政府、企業それぞれの取り組みの重要さが増す。どの国も持続的な成長には生産性の向上が避けて通れない時代になっており、ロボットと共存共栄することを前提にした議論が必要になる。

#### 日経 2017.4.16 AI「ワトソン」年 1 兆円稼ぐ、IBM,初期市場で先行、業務改善、GM・イオン採用

米 IBM の人工知能 (AI) 型コンピューター「ワトソン」を使ったサービスやソフトウェアの関連売上高が日本円換算で年 1 兆円に達したもようだ。技術開発で先行し、顧客の業務改善を促すコンサルティングのツールとして使うことで AI ビジネスの初期市場で圧倒的な存在感を放つ。ただ競合の追い上げは激しい。先行者利益をどこまで保てるのか。

米最大の税務サービス会社 H&R ブロックは今年から確定申告のアドバイス業務にワトソンを導入した。税務カウンセラーが還付申告書を作成する際の顧客へのインタビューから還付が受けられる対象を見つける。

顧客対応を担うカウンセラーは、より細部にまで還付の可否の検証に取り組めるようになり、導入 4 週間余りで顧客満足度は 2 ポイント上昇した。同社の年間収入は 30 億ドル (約 3300 億円)。ビル・コブ最高経営責任者 (CEO) は「2%増える効果はある」と見る。

ワトソンを使った業務改善の実例は枚挙にいとまがない。運転手の癖や好みを考慮した情報サービスを提供する GM。社内のコールセンターの代替を担うイオン。腫瘍の診断では世界 35 の医療機関が採用した。「2016 年当初 (ワトソンが診断した) 患者は 10 人だったが、16 年末に約 1 万人に増えた」(IBM のジョン・ケリー上級副社長)。米マイクロソフトなど世界の IT (情報技術) 大手が一斉に AI の活用に乗出す中、IBM がビジネスで先行するのは「伝統」によるところが大きい。1997 年にはチェスの世界チャンピオンを破り、11 年にはクイズ番組でトップに立つなど人間と同等以上の能力を持つコンピューター開発を早くから手掛け知名度で抜きんできた。14 年に事業化し、顧客を押さえる営業でも先んじている。ただ、浸透した本当の理由は IBM が IT 構築を軸としたコンサルティング会社というところにある。政府組織、金融、小売り、製造業などあらゆる業種で幅広い IT サービスを提供しているため顧客と話し合いながら使い勝手のいい仕事に調整しやすい。IBM はワトソンを使った事業売上高を公表していないが、16 年 12 月期に 1 兆円を上回ったようだ。全体の 1 割を大きく超えている。通常の IT システムの提供やコンサルサービスがワトソン経由に置き換わったものもあり、純粋な売上高の増加とは言えないが、初期市場の獲得で先行している。調査会社、米 IDC は IBM について、「ビジネス現場での AI 普及の先駆者といえる」と分析している。AI ビジネスで優位に立つ IBM だが、その地位は保証されるのだろうか。「ワトソンが一番賢いと思うが教えるのが大変だ」。顧客対応にワトソンを使う三菱東京 UFJ 銀行の村林専務は言う。簡単なりポート執筆にベンチャー企業の簡易な技術を活用するなど用途に応じて AI を使い分けているという。ベンチャーの AI も日進月歩で、安価で使いやすい技術は次々に現れる。コモディティー (汎用品) 化を懸念する IBM

はワトソンの性能向上に余念がない。15年には大量のデータから複雑な特徴を自力で探す「ディープラーニング（深層学習）」に強い米ベンチャーを買収。従来の「マシンラーニング（機械学習）」技術の集大成であるワトソンの進化を急ぐ。「1桁前半の売上成長を目指す」。ワトソンがあるにもかかわらずIBMのCEOは控えめな全社目標を掲げる。16年10～12月期まで19四半期連続で減収。16年通年の売上高はピークの11年から300億ドルも減った。自前でハードやソフトを購入しなくても安価にITサービスを活用できるクラウドの普及でIBMが得意とするメインフレーム（汎用機）は優位性を失いつつある。CEOが「未来ではなく、今まさに活用できる技術」と言うワトソンは巨像IBMの趨勢をも決める。

#### 日経 2017.4.16 グーグルやマイクロソフト、「深層学習」テコに猛迫

米IBMが大口顧客を個別に開拓してきたのに対し、「AIの一般化」を目指す米グーグルや米マイクロソフト、は最新の人工知能の技術や機能をクラウド経由で幅広い顧客層に提供し、市場のすそ野を一気に広げる戦略で猛迫している。

グーグルやマイクロソフトの強みは、AIの最新分野である「深層学習」の研究者を数多く抱え、基礎研究やその応用で優位に立っていることだ。自動運転車や会話型デジタルアシスタント、翻訳アプリなど進歩がめざましい製品やサービスの多くは深層学習の研究成果がベースになっており、企業の関心や導入意欲は高まっている。

両社はクラウドサービスのメニューの一部として、画像認識や自然言語理解、音声認識などの機能を提供し、精度は高い。金融や医療から小売り、サービスまでAIの利用シーンが広がる中、最新技術の取り込みや顧客基盤の拡大で後れを取れば、IBMは先行優位を失う可能性がある。

#### 日経 2017.4.11 AIと世界、仕事が消える日、変化に適応可能か

インド南部の古都マイソール郊外。車と人でごった返す市街地を抜けると、高い塀や監視カメラに囲まれたビル群が現れる。インドITサービス大手のインフォシスだ。

去年は8000人分

米欧のグローバル企業を顧客にシステム開発やコールセンター業務の受託で成長してきた。ここで昨年、8千人以上の仕事が消えた。人工知能AIの本格導入がきっかけだ。今の仕事は続けさせられない。Tシャツにジーパン姿で門から出てきた31歳の男性社員は昨年末、上司から告げられた。大卒後に入社、一貫してシステムに不具合がないか監視してきたが、AIに取って代わられ今は担当業務がない。「人間が数時間かかる仕事を瞬時にできる。AIにはかなわない」と語る。コールセンターは音声認識AIに代替されシステム開発もAIが手掛ける。効率が上がり、社員19万人の約5%の業務がなくなった。AIが普及すれば職を失う人はもっと増えるとの試算もある。野村総研と英オックスフォード大学の研究によれば仕事の49%はAIで代替可能という。

新たな職場も

ただ、負の部分にだけ目を奪われると本質を見失う。AI は職場を奪う一方で新たな職場も生み出す。AI を顧客に合わせて作り替えたり AI が分析しやすいようデータを加工したりする仕事の注文が増えている。この男性も社内の AI 研修に参加。「認められれば失業は免れ AI に関する新しい業務に就ける」。

米ニューヨークの金融業界で 10 年近く働いたジャック・ベラスコ氏は今年 1 月、会社を追われた。「トレーダーはここ数年で 1~2 割減った」。2010 年ごろから AI が職場に入り始め多くのセールストレーダーが辞めていった。「ショックだった」というベラスコ氏だが今はトレーダーへのこだわりはない。AI などの IT と金融を融合したフィンテック企業が「ニューヨークで続々誕生している」。新興企業専門の転職サイトに登録。面接を重ねる度に「金融の知識を生かせる仕事は増えている」と実感する。AI が作る新しい仕事に飛び込んでみるつもりだ。AI は万能ではない。富国生命保険は、AI 活用で医療保険給付金の査定部署 131 人を約 3 割減らした。入力情報の確認を AI に任せる。だが、「病名の読み取りなどに AI 特有のミスがある。慎重にチェックしないと」女性職員は言う。全件数の約 1 割でミスがあり、人が AI の仕事をチェックする。AI のサポート役に人がまわることも増えるだろう。1980 年代、自動化で工場の製造部門が減り、90 年代の IT 革命で経理や人事の省力化が進んだ。一方でシステム開発やネットサービスといった雇用が生まれた。イノベーションは変化を生んできた。AI もその一つにすぎない。

#### 日経 2017.3.15 知識から知恵へ、AI 襲来、眠れぬサムライ

原子力事業の混乱で 2016 年 4~12 月期連結決算の公表を再度延期した東芝。すべての発端は 15 年 4 月に発覚した不適切会計だった。当時、監査を担当していた新日本監査法人の関係者は悔やむ。AI があれば、不正の温床となったバイセル取引を見抜けたんじゃないか。パソコン部門で横行していた利益水増しの取引手法。最も悪質性が高いともされるが、新日本の会計士たちは見過ごしてしまった。AI は膨大な資料やデータを読み込み、分析するのが得意。しかも、日々、学習する。帳簿データから通常とは異なる取引を見つけ出すことも不可能ではない。「10 年後には仕事を奪われるかもしれない」。新日本の公認会計士の不安が募る。現代のサムライたちが職の「断絶」に直面する。データの自動化が進む米国では過去 10 年間で会計士が数万人規模で減った。英オックスフォード大と野村総研が調べた「10~20 年後に AI やロボットで代替可能」という職業の中には会計士と弁理士、行政書士、税理士の 4 士業が含まれている。弁理士も覚悟する。これまでは特許の調査や申請と言った業務をこなしていれば、それなりに役割を果たすことができた。だが、「経営者と一緒になって知恵を絞るのが、AI 時代を生き抜く弁理士の姿」。いかに顧客企業が生み出す発明を企業競争力につなげるか、その力量が問われる。・・・税理士界も・・・

#### 日経 2017.3.13 働き方改革、AI と不可分、技術進歩に政策的対応を

AI の発達が人々の働き方や経済活動を大きく変えるという議論が盛んだ。世界的にも、新しい技術革新の波が AI を起点として起こりつつあると考える人は多く、その結果、たとえばかなりの仕事が失われるのではという心配の声もあがる。・・・今後 AI が急速に発展

していく中で、働き方の改革は組織全体の変革を伴って進むことになる。その際まず重要になるのは、職務内容の明確化である。特に日本のホワイトカラーは、全般的に、何を目的にどのような仕事をするのが明確でなく、評価軸も必ずしも明確ではない場合が少なくない。この点を改善しないと AI をうまく導入できず、より効率的に AI を活用して、より低コストで生産やサービス提供する外国企業などに競争で負けてしまう。日本の正社員は、職務内容が明確でなく幅広い仕事をこなすことにむしろ強みがあるとも言われてきた。しかし明確に複数の仕事を職務として与えることは可能なはずだ。幅が広いと不明確になるわけではない。どの範囲でどんなことを幅広くするのか明確にすることが必要だ。その意味では、日本では AI に直接仕事を奪われるというよりは、AI を活用する外国企業や新規参入企業に負けるという形で、間接的に AI に仕事を奪われる局面の方が多いかもかもしれない。競争力を高めるためには、明確にできる仕事内容は明確にし、成果目標を明確に定め、AI に任せるべき部分と、そうでない部分とに分けられるようにしておくことが必要だ。それによって、人間の業務についても、より明確化された仕事に特化することで生産性の効用も期待できる。AI がすべての仕事を代替することはなく、人間には人間の相対的強みがある。その一つは人間同士のコミュニケーションにかかわる側面だ。たとえば飛行機やホテルのチェックインは、今でもかなりコンピューター処理で自動化が可能になっている。しかし、にもかかわらず人間が対応してくれることに多くの人は心地よさを感じ、そのようなサービスに価値を見出す。もちろん、無人の方が気が楽という人もいるだろうし、どんな接客態度でも人間の方がよいというわけではない。しかしコンピューターが仕事をこなせるからといって人間が強みを発揮できる部分がないわけではないのだ。ただし、注目すべきなのは、人間が接客する場合でもコンピューターに接続した端末を使う点だ。つまり、現実には人間か AI かの二者択一ではなく、AI をうまく活用する人間の活動が大きく生産性を高めることになる。AI や IT など急速な技術革新が組織の大幅な再構築を迫るとすれば、結果としてそれは、今所属している企業外で働く必要性も高めることになり、企業間を人材が移動する度合いも必然的に高まってくる。また、今までの仕事内容を AI ができるようになれば、より人間として強みを生かせるような仕事に特化したりシフトしたりする必要性も生じるだろう。したがって、所属する組織やこなす仕事が変わった際に、十分に能力を発揮できるような能力開発や訓練が必要になる。企業に頼りきるのではなく、いかに各個人が主体的に行動して、変化に対応できる能力を身に付けられるようにするかは、働き方を改革していく上での大きな政策課題だ。そもそも将来的には、企業組織のあり方そのものも大きく変わっていくと考えられる。技術革新のスピードが速くなると、高付加価値を生み出す組織が、かなりの頻度で変化していく。結果として、組織は永続的に存在するのではなく「プロジェクトベース」になっていく可能性が高い。プロジェクトとともに組織ができ、プロジェクトが終われば組織が解散する形である。そのように組織のあり方自体が変化した場合には、自律的主体的に働く個人がより一層求められる。

現状、働き方改革の機運が高まっている理由の一つは、一部でかなり人手不足が生じて

いて、従業員に魅力的な職場を提供しようとしていることだろう。一部とはいえ、働く側が主体的に働き方を選択するような流れが出てきているのは、注目すべき点だ。見逃してはならないのは、その裏側で、技術革新により働き方に関する構造が大きく変わってきている点である。具体的には、今までは同じ時間に同じ空間に集まって仕事をする必要性が非常に大きかった。しかし、モバイル機器の発達などにより、離れていても、あるいは異なった時間でもメールのやり取りなどを通じて、一緒に仕事をするのが可能になった。あるいはテレワークなどを通じて出社しなくてもできる仕事、場合によっては他地域にいてもできる仕事も増えてきた。つまり、時間や空間に縛られる度合いが小さくなっている。この構造変化は今後一層進んでいくだろう。現状、副業の議論が盛んになっているのは、このような構造変化によって、会社から離れた場所で短時間でも、できる仕事はかなり増えてきていることも大きな要因だ。その点が、どこまでを労働とみなすかの判断を難しくしている面もあるが、これは、今までのルールが会社に長時間居続けることを前提としている点にも原因がある。今後の大きな課題は、技術の進歩に合わせて如何に法律や制度を変えていくかである。その一方で、ブラック企業という言葉に代表されるように、十分な情報や知識がないまま就職先を決めてしまい、結果として、こんなはずではなかったと思いつながら働いている人も生じている。現状、働いている人たちに主体的に決定するだけの十分な情報が不足しているのも事実であろう。IT の発展がこのような情報不足軽減に役立つよう期待したいが、政策的な対応が必要な面でもあるだろう。

先にも述べたように、働く人々が主体的に働き場所や働き方を選べるようにする環境整備と、環境変化に合わせて必要な技能習得や能力開発を継続的に行っていくような体制づくりが、政策的により一層求められている。そのためには働き方基本法のような大枠としての法整備で、日本全体として大きな方針を明らかにすることも一つの方法だろう。それに加えて働き方教育を充実させ、主体的に働き方を選べるようにする基本的知識や能力、心構えなどを教育することも必要になってくるだろう。さらに、働く前段階できちんとした契約をする、あるいは変な契約をしないようアドバイスする主体も必要となるだろう。これについては労働組合の積極的な取組も期待したい。いずれにせよ改革には時間がかかり、変化は急だ。残された時間は少ない。

#### 日経 2017.3.4 AI、暗記→ひらめきへ、先行の米国勢追う、富士通、理研と共同研究

富士通は想定外の状況に陥っても適切な対応策を練れる次世代の人工知能（AI）の開発に乗り出す。基礎技術を持つ理研と共同研究拠点を設置。富士通が5年間で総額20億円強を投じる。「暗記」が得意な現在のAIと異なり、いわば、「ひらめき」で勝負するAIの実現を目指す。米国勢が先行するAI研究の勢力図を塗り替える成果を出したい考え。

理研のAI拠点である革新知能統合研究センター（AIP、東京・中央）に共同研究組織を置く。設置期間は5年間。理研と富士通の研究者や技術者が参加し、人数は50人規模になる見通し。主に理研が基礎研究、富士通が応用を担当する。3～5年後の商用化を目指す。現在のAIブームの立役者であるAI開発手法「ディープラーニング（深層学習）」はカメラ

に写った物体の認識、適切な治療法の提案、チェスや将棋、言語の翻訳といったさまざまな AI の開発に使われてきた。コンピューターに何度も繰り返し経験させると判断基準を自ら獲得し、経験した中でも最も適切と思われるものを選ぶ。IBM やマイクロソフトなどの米国勢は大規模なコンピューター群を使って学習量を増やし、性能を高めてきた。最近は大規模な資金を投じる中国勢の追い上げも激しい。AI の開発競争は「物量作戦」の面もあり、予算に制約のある日本勢は水をあけられている。一方で深層学習は経験したことがない状況を苦手とする。大量の画像を学習して多くの物体を認識できるようになったとしても、学習させた回数が少なかった物体は正しく認識できない。AIP はこうした限界を超えることを狙う。頻度が少ないデータを補って適切に学習させる手法や過去にない状況におかれたときにとった行動がどんな影響を及ぼすかを類推する手法の確立が目標だ。実現できれば、物量勝負の開発競争から抜け出せる可能性がある。用途も広がる。例えば、大規模なイベントの開催時に列車事故が発生したり、急速に天候が悪化したりといった過去にない状況下でも、適切に人を誘導する方策を見つけられるようになる。新しい手口のコンピューターウイルスの侵入を検知した時に、攻撃の影響範囲を予想して適切な防御と社内システムの運用継続を両立できる作戦を考えると高度な判断ができる AI の開発にもつながる。AI の開発動向に詳しい松尾豊東大准教授は「少ないデータから学習する手法や推論を組み合わせる手法の研究開発は各国で進んでおり、実用化に向けた競争は激しい」と指摘する。

#### **日経 2017.2.27 がん、患者別に最適医療、京大など、投薬・治療データ集約、遺伝情報と一体解析**

京大や北大など全国 6 大学の附属病院は、がん患者一人ひとりの遺伝情報をもとに最適な治療法を探る「個別医療」を 2019 年度にも始める。がんに関わる 200 種類以上の遺伝子の変化と投薬歴や治療効果をまとめたデータベースをつくり、精度の高い診断や効果的な治療につなげる。・・・

#### **読売 2017.2.26 人工知能開発、「薔薇色」実は深刻な問題（劇作家 山崎正和）**

このところマスコミを騒がせている最大の話題の一つは、「人工知能」だろう。人工知能とそれをロボットに載せるテクノロジーの知能化、あらゆるものをインターネットで結ぶ「IoT」は、蒸気機関の発明、電力エネルギーの導入、コンピューターの応用について「第 4 次産業革命」を起こすだろうと言われる。最新の人工知能はただのコンピューターとは違い、自発的な判断力や感情まで備え、人間と同等か、それ以上の精神活動を行う能力を秘めている。工場労働をはじめとして、介護や医療の分野でも人間の代わりができるから、これで労働力不足はなくなるという声がある。ある推計によれば、肉体労働、事務労働の 8 割が人工知能に委ねられると予想されているという。労働を苦痛と感じる人は多いから、これを聞いて朗報と受け取るのが大勢となっている。未来学者はもちろん、テレビ・タレントでさえ、「薔薇色」の時代が来たと囁き立てるありさまである。だが少し待ってもらいたい。すでに思慮深い少数派が指摘しているように、この薔薇色の背後には失業と転職と

いう深刻な問題が潜んでいる。楽観論者は事態を軽く見て、事務や肉体労働の従事者は「創造的」な仕事に転職すればよいという。だがかりに本人がその気になっても、中年の事務職員がデザイナーや科学研究者へ転職することが可能だろうか。恐ろしい時間と努力が必要だが、その間の生活費と研修費用を誰が負担するのか。しかも楽観論者は職業観に偏見があって、事務職員が仕事を愛し、それまで生きがいを覚えて働いてきた事実を忘れている。また考えれば脅威はさらに重大であって、人工知能が究極まで進化すれば、人類の100%が失業する可能性もないとは言えない。「創造的」な仕事もロボットがすることになれば、人類は完全に自由になるが、しかし完全に無収入にもなる。そうすれば消費は皆無になるから、ロボットの従事する生産も無意味になってしまう。どうしても無人企業を生み出す収益を適切に分配し、余暇を楽しむ全人類を生活させる一種の共産主義が必要になる。ところが従来の共産主義が夢にすぎず、その過程の社会主義的分配が強権と官僚主義を招くことを、人類はすでに学んでしまった。この弊を避ける知恵を現在の人間は持たないから、ここでも新しい深遠な英知を将来の人工知能に期待するほかあるまい。

不死が生む傲慢な世界

「創造的」な仕事を含むすべての仕事をロボットが行い、全人類が余暇を楽しむ夢のような社会は、果たして実現可能だろうか。その場合、ロボットが生み出した収益の配分も人工知能に頼ることになる。要するに平等や公正と言った価値観も人工知能に育ててもらわなければならない。そうすると問題は一段と次元を異にする困難を露呈するだろう。いくら人工知能に自由に考えてもらおうと言っても、その思考の出発点となる資料は現代の人類が入れるほかなく、入れる内容は現代の価値観しかないという現実がある。人工とはいえ、知能は知能だから無から考え始めるわけにはいかず、必ず思想史上の過去に縛られ、助けも受ける。その縛りが21世紀前半の価値観であり、現時点までの思想の伝統であるとすれば、これは現代が未来を制約し、歴史を凍結することを意味す。もちろん生きた人間も歴史の制約を受ける存在であり、どんな個人も幼少期に植え付けられた価値観を信じ、若干の修整を加えながらも終生、それを引きずって生きてゆく。しかし反面、人間には死という冷厳な宿命があって、この断絶のおかげで人類全体は歴史の変化に順応することができる。特定の時代の価値観がいかに頑固であっても、それを信奉する世代が死ねば、後の歴史は格別の争いを起こすことなく自然に変わっていきける。もはや念を押すまでもあるまいが、人工知能にはこの死という断絶がなく、一時代の価値観を根底に抱いたまま永遠に生きるということが問題なのである。ちなみに面白い事実だが、人工知能の賛美者には不老不死を憧れる人が多く、むしろ逆に不老不死を実現するために人工知能を求める論者が目立つ。前に本欄でも紹介したレイ・カーツワイルが典型的だが、彼の「不連続点は近い(ポスト・ヒューマン誕生)」もこの夢を論じて、そのために「非生物的人間」の創造を主張していた。方法は2つあり、身体に微細ロボット(ナノロボット)を注入して機械化するが、あるいは個人の全精神能力を知能ロボットに移管するかのどちらかだという。いずれにせよ、造られた非生物的人間は個人として永遠に生きるわけで、世代交代もなくなり歴史は凍結状態

に入ることになる。語るに落ちる笑い話だが、カーツワイルは迂闊にも自分の非生物的身を造るにあたって消化器官は要らないが皮膚は残したいと漏らしている。後者は性の快楽に必要なからというのだが、わかるのは彼が食欲よりも性欲に価値を感じているという事実だろう。ここでは、未来の価値観が現代の制約を受けるどころか、危うく一人の男の私的な価値観によって決定されようとしていると言える。振り返って人類の歴史を見れば、そもそも価値の文明史はその内部に個人の死と世代交代を含み、伝承の流れに随時の断絶があればこそ発展してきた。断絶なくただ続くのは惰性的な因習であって、真の文化伝統は過去と現代の緊張した対決を内に孕む。文化伝統には古典と呼ばれる今はなき価値観があり、時間を隔てた継承者がそれを懸命に習得することで蘇る。この死と蘇生のリズムが文明史を造り、その根底には生物的人間の生のリズムがあった。それを失った非生物的文 明はどんな姿を見せるのだろうか。たぶん死の恐怖のない個人は傲慢になり、知的能力を無限に拡張しながら、他の非生物的个人と競争を重ね、しばしば抗争を繰り返すだろう。その人数も無限に増えるはずだから、資源と環境の制約が解決されても、その居場所は宇宙にまであふれるだろう。だが忘れてはならないのは、数千億光年のこの宇宙にも法則があり、それは無数の星を生んでは滅ぼす生命的リズムだということである。言うまでもなく、人工知能の技術は有用、不可欠である。だが、それを研究し、それについて論じる人はもっと足を地に付けた方がよい。早い話が、完全自動運転車の開発に各社が狂奔（きょうほん）しているなかで、老人運転者がアクセルとブレーキを踏み誤るといった、現存の技術で対応できる事故を防ぐ車がまだ普及していないのである。

#### 日経 2017.2.25 知的活動を代替、AI は生活を楽しむ、高齢者にこそ利点（野口悠紀夫）

使いこなすうえで、年齢は関係ない

人工知能が飛躍的に進歩し、人間の知的活動の多くを AI が代替する時代が来ようとしている。この先、人間は AI に比べて知的劣位に追いやられるのだろうか。だとすれば、人間が知識を保有する意味はどこにあるのだろうか。経済学者の野口さんは「AI の進化は、人間が知識を持つことの意味を根本的に変える」とみる。「AI はとんでもない技術とと思っている人が多いですね。中には人間を支配すると警戒する人もいます。確かに高度な技術ではありますが、身構えることはありません。専門家だけでなく、我々が普通に使いこなすことができる。その意味で、すごい技術なんです」「産業革命の時代に肉体労働の多くが機械に代替された。人間は苦痛を伴う肉体労働から解放され、より人間らしい活動に集中することが可能になった。同じように知的活動においても、コンピューターにできることはコンピューターに任せ、人間は人間にしかできない作業により多くの時間をかけることができる。そう考えれば、AI を警戒する必要は全くありません」。「AI はすでに生活に入り込んでいます。例えば、音声入力です。スマホで、文章を吹き込むと、そのままテキストデータになる。私はほとんどこのやり方で原稿を書いています」「音声情報の中から意味を持つ内容を選別して選び出す。このパターン認識と呼ばれる能力が、AI を使うことで格段に進歩

しました。例えば、「おいしいアップル」と入力すると、アップルパイの店やレシピを選んでくれます。単純に「アップル」というキーワードだけに反応しているだけでなく、形容詞との関係でその意味を理解しようとしている」AI というと、高齢者には縁遠いものと思われがち。だが、「思い込みにすぎない。」という。音声入力をすればキーボードの操作はいらない。パソコンやスマホが苦手な高齢者でもできる。「文章を書く際に壁が低くなる。何にもない白紙の状態から始めるのは大変。音声入力ですぐに浮かんだことを次々に吹き込む。文章は断片的なままでいい。後から手をいれればすむ。歩きながら、あるいは寝っ転がったまま、スマホに話しかければいい」「AI は自動車の自動運転にも活用されます。これだって、若人よりもむしろ高齢者にメリットがある。「やっときてくれましたね」という気持ちで、AI と向き合ったらいいのではないのでしょうか」「昔、「歩く百科事典と言われた人」がいましたね。しかし、こうした人は、ほとんど無用になりました。今は、知識がどこにあるかが重要です。インターネットのウェブのどこかにある。それを見つければいい。既にインターネットの登場でやみくもに知識を蓄えなくてもよくなりましたが、AI がパターン認識をできるようになったことで、流れは加速しました。」「資本財としての知識から「消費財」としての知識へと、知識の位置づけが変わったのだと思います。何かを成し遂げるためではなく、楽しむための知識です。火星探査を考えてください。どう見てもコストが高すぎる。にもかかわらずよやっている。何の為でしょうか。生命の起源を探るという目的のためとも考えられますが、むしろ「生物がいるのか知りたい」という知的好奇心からきているのではないのでしょうか。」「資本財と消費財の関係をスポーツに例えてみましょう。私たちはなぜ、スポーツをするのか。プロのスポーツ選手にとって、スポーツは所得を得るための資本財ですが、多くの方はスポーツが楽しいからやっているのであり消費財です。知識についても同じことが言えます」AI が知的活動を代替してくれるなら、知識の習得に労力を注ぐ必要はないのか。「自動翻訳機が発達しても、外国語を勉強する必要があります。ゲーテのファウストをドイツ語で読めることには価値があります。翻訳で読んだのでは真の理解は難しい。高校生の時ドイツ語を勉強しました。ただヘルマン・ベッセを読みたかったからです。知識を持つことは必ずしも経済的利益を実現するわけではありませんが、人生を豊かにします」消費財としての知識を得る意味がもう一つある。そこから「問い」が生まれるのだ。「ニュートンはリンゴがなぜ落ちるのか疑問を抱きました。しかし、AI はニュートンと同じような疑問を抱くことができるのでしょうか。AI にあらゆる法則を学習させ、それと矛盾する現象を指摘させることは可能でしょう。しかし、疑問を抱き、問いを発する能力は、今のところ持ち合わせていない」「AI が発達しても、人間が知的活動のすべてを AI に任せることにはならないでしょう。消費財としての知識の価値は AI がいかに進歩したところで、減るわけではありません」

**日経 2017.1.30 AI と競い共に働く、浸食される仕事は、磨くべき能力とは、共存するには**

浸食される仕事；AI は学習する。膨大な資料やデータを読み込み、分析できる。複雑な計

算も瞬く間にこなす。人にはできないこと、難しいことが得意な場合もある。それを「恐ろしい」ととらえる人もいる。自動運転や自動翻訳の技術が本格的に導入されれば、通訳や翻訳、タクシー・バスの運転といった仕事は AI が担う。司法や医療の分野にも AI やロボットが進出する。

磨くべき能力とは；米マイクロソフト社のサティア・ナデラ CEO は「AI が普及した社会で一番希少になるのは、他者に共感する力を持つ人間だ」と強調する。医療の世界では「医師の仕事は自動化できても、看護師や介護福祉士などは人が足りない」と指摘、AI では補えない。駒沢の井上は、AI 時代を生きるうえで「創造性 creativity」「経営・管理 management」「もてなし hospitality」の 3 つが鍵になるとみる。AI 時代に重要な能力を総務省が有識者に聞いたところ、主体性、行動力などの「人間的資質」「企画発想力や創造性」が最も多く、コミュニケーション能力が続いた。人ならではの強みを身に付ける必要性が浮かび上がる。共存するには；できることは任せ生産性向上、人にしかない能力にさらに磨きをかける。

**日経 2017.1.10 AI に負けぬ「人間力」磨く、ハウステンボス社長、旅や芸術で感性養う**  
AI は蓄積した情報の分析や計算などは得意だが、画期的なものは生み出せない。人間には情報を新しく創造的なものに変えるスキルが最も必要となる。創造性が高まるよう感性を磨くには、多様な芸術や文化に触れたり旅をしたりすることだ。夢や目標を持つことも大切だ。大きな方が良い。世の中、良い時も悪い時も先が見えないときもある。暗い気持ちにならずに、明るく考えていけば危機はチャンスになる。

**日経 2016.11.6 45 年、人は「第 2 の脳」を手**

発明家で米グーグル在籍のレイ・カーツワイルは、AI が人の知性を上回る「シンギュラリティ」が 45 年に来ると予想した。そうなれば「我々の脳をスキャンして作った第 2 の脳がよりスマートに考え長生きする。人類の知能は拡充し文明は新しい段階に入る」と予測する。

**2016.3.13 日経 AI は人知を超えるか、自ら学ぶ能力進化、実社会に貢献期待**

人工知能 (AI) はすべて同じに作られているわけではない。韓国での囲碁戦に挑戦した AI は月並みな AI よりも興味深いタイプ。実世界での AI の使われ方に大変革を起こすかもしれない。米グーグルの子会社ディープマインドのプログラム「アルファ碁」。パターン認識を利用して対極がどう進展しているか「理解」そ、次に戦略を練り上げ、臨機応変にその戦略を適応させる。このシステムは「深層学習 (ディープラーニング)」、パターンと「意味」を模索して膨大なデータを分析すべく、人工の神経ネットワークを駆使する。ディープマインドは、システムに教えるために 2 つの囲碁プログラムを戦わせ、技術が反復・適応するのを助ける「強化学習」として知られるテクニックを活用した。

**2016.2.27 日経 人工知能で戦略組織、3 省連携、企業と共同研究、10 年で予算 1000 億円**

文科省、経産省、総務省は、2016 年度から共同で、人工知能 (AI) の県境開発に乗り出す。10 年間で約 1000 億円を投じ、理化学研究所など 5 機関で研究する。参加機関の研究計画を束ねる研究者主導の戦略センターを設置して予算配分を委ね、企業との共同研究を

推進。基礎から応用まで一貫した研究を進め、世界に立ち遅れている人工知能開発で巻き返し、新産業の創出につなげる狙い。

## 2016.2.21 日経 AI、弱点は「常識知らず」、状況把握が苦手、活用に課題

国立情報学研究所（NII）などが開発を進める人工知能（AI）の「東ロボット」も、2021年度の東大合格を目指している。成機は上がっているが、意外な弱点のあることが分かった。機械の脳は、人間が経験を通じて獲得した膨大な「常識」を持たず、そのことが文意の理解や状況の把握のハンデとなる。問題は入試に限ったことではなく、今後の人工知能の活用を考える上で、重要な課題となりそうだ。

数学と歴史はよいレベル。13年度の偏差値（センター試験）は45。今年度は57.8。世界史は安定して8割。数学も数列の問題を解くアルゴリズムで点を伸ばしている。一方、物理は苦戦している。最大の壁は問題文の理解。物理ではまず、文章で説明された状況を把握する必要がある。例えば「時速40kmで走る自動車から後方に投げたボールの運動について聞かれれば、人間なら誰でも、道を走る自動車の窓から外に向かってボールを投げる光景を思い描く。その背後には、これまでの経験で起こってきた膨大な知識の蓄積がある。「自動車とは人が乗って動くものだ」「ボールは外に向かって投げた」「自動車には重力が働いている」。どれも問題文には書いていないが、当然の前提となっている。

だが日常生活を送った経験がないコンピューターは、そうした「常識」を持たない。そのため問題文の説明から、常識を頼りに状況を把握することができない。この物理への挑戦は、将来、家庭や町中で働くロボットが身の回りの出来事をどこまで把握できるかを占う試金石となる。人間の常識を辞書のようにロボットに与えることは可能だろうか。「現実世界と言葉は1対1対応しておらず、難しい」。例えば「かばんを持つ」と「かばんをぶらさげる」はほぼ同じ動作を表しているが「かばんを持つ」「鉄棒を持つ」の「持つ」は全く違う。人間が状況把握に用いるあらゆる常識をロボットに教えるのは不可能に近い。「常識」は経験から得られるものばかりではない。人間は生まれたばかりの赤ん坊でも、例えば「空腹になったら食べなくてはいけない」「動いているものに注目する」ことを知っている。それは生物進化の長い歴史の中で、人間が獲得した「常識」。我々が現実世界で下す判断や行動の多くは、そうした「常識」に基づいている。一方、生身の体がないコンピューターやロボットは、何ら「常識」を持っていない。どれだけAIが進歩しても、コンピューターが人と同じようにこの世界を認識するようになることはない、見られる。「自動運転車の開発」にも重い課題がある。たとえば運転中に何か飛び出してきて、進めばぶつかるが、避ければガードレールに衝突するような場合、人間は状況を瞬時に把握し、自己防衛を最優先しつつ、できれば他者も守ろうとして、とっさの判断を下すだろう。だが、ロボットに、そうした判断は難しい。

人工知能のゴールはおそらく人間の知能ではないだろう。ロボットの特徴を生かし、ロボットにしかできないタスクを担う。新たな知能を目指す必要があると専門家の多くは考えている。

## **2016.1.13 日経 人工知能は職を奪うか下、意思疎通能力、一層重要に、労働市場の整備カギ、学校教育、理系・文系融合を**

人工知能が多くの人々の仕事を奪うのではない。そんな懸念が急速に広まっている。コンピューターが単純労働やルーチンワークを代替しつつあることは以前から指摘されてきた。それが AI の発達により、かなり知的能力を必要とする仕事にまでおよび、広範囲な仕事が AI にとってかわられつつあると言われる。今や、働く環境は大きく変化している。SF 的な未来のこと考えない限り、コンピューターやロボットが人間から完全に独立して、自らの意思を持って仕事をし、人間の仕事を奪うのではなく、それを使う人間が他の人の仕事を奪う。

## **2015.2.26 日経 自ら学ぶ人工知能、ペーむ、繰り返し遊んで攻略、グーグル開発、ロボにも**

米グーグルは「ブロック崩し」などの電子ゲームの攻略法を遊びながら自ら編み出し、人間以上の高得点を出せる人工知能 (AI) を開発。やり方を教わらなくても自分で学習する AI に道を開く研究成果で、将来は人間にしかできないと思われる複雑な仕事もこなせるようになる可能性もある。26 日のネイチャー電子版に発表。開発したのは、人間の脳の神経回路をまねた学習機能を持つ AI 「DQN」。スペースインベーダーやブロック崩しなど懐かしのゲーム 49 種類を AI に与えた。ゲームの事前知識を教えなくても、人間のように繰り返し遊ぶことでやり方を学び、高得点を取る秘訣を編み出す。ブロック崩しを約 100 回遊ばせた段階では、AI は飛んでくるボールをうまく打ち返せなかった。400 回遊ぶと取りこぼしはほぼなくなった。600 回を超えると、端のブロックに攻撃を集中して穴をあけ、ブロックの裏側にもボールを送り込んで崩す攻略法を発見し、高得点を出せるようになった。

ゲームの試験開発に携わるプロの人間と AI が得点を競ったところ、ゲーム 49 種類のうち 29 種類で、人間並みかそれ以上の得点を得られたという。ブロック崩しでは人間の 13 倍の得点を取り、最も上手になった「ピンボール」では 25 倍に達した。AI が取り入れたのは、コンピューターが学習によって判断基準を作り出す自ら賢くなる「深層学習 (ディープラーニング)」と呼ぶ最先端の研究分野。人間が教えなくても大量のデータから精度を高めえることができ、人間を上回る能力の獲得も可能だ。将来はロボットや自動運転車などの次世代技術に幅広く応用が見込める。

## **2015.1.28 日経 ハウステンボス、園内に 7 月開業、「スマートホテル」1 泊 7000 円から、ロボット・太陽光利用、オークションで価格設定**

ハウステンボス (HTB) は 27 日、最新の IT を駆使して省人化・省エネ運営する「スマートホテル」の概要を発表。ロボットや再生可能エネルギーなどを用いてホテルの建設・運営コストを下げ、低料金を実現した。沢田社長は「世界一生産性の高いホテルで世界市場に進出する」と述べ、海外展開する方針。新ホテルの名前は「変なホテル」。7 月開業する第 1 棟は計 7 2 室。同じ部屋数の第 2 期棟も来年初めて営業開始。同じ園内のホテルに

比べ料金を3分の1以下に抑えた。

機械化や自動化を徹底したほかに、太陽光発電など再生可能エネルギーの導入により、低料金を実現。ホテルで最もコストのかかる人件費と光熱費をそれぞれ3分の1以下、半分に抑える。ホテル内にはチェックイン時の接客ロボット（3台）、コーヒーなどを運ぶサービスロボット（1～2台）、清掃ロボット（数台）などを配備。このほか顔認証システムで本人を自動確認し、カギを持たずに部屋に出入りできる。2016～17年をめどにグループのレジャー施設「ラグーナテンボス」に建設した後、新興国などを中心に10年後、1000拠点を目指す。海外にも運びやすいコンテナ型の部屋を現地で組み立てる工法を採用しているため、短期間で簡単にホテルを建てることができる。太陽光発電など再生エネルギーを活用するため、電力事情の悪い新興国でも展開できる。HTBの親会社HISは東南アジアを中心に海外事業を急速に拡大している。「豊かになったアジアの中間層が海外旅行に出かけるようになり、世界中でホテルが足りなくなる時代が来る」と予想する。

#### 2015.1.9 日経 「人間とは」ロボで追究、動作・感情・・・どこで判断、似すぎると違和感も「不気味の谷」克服めざす

人間そっくりのヒューマノイド（人型ロボット）を作る研究が盛んだ。落語家ロボットや情勢のヒューマノイドが百貨店で接客や演劇で活躍中。研究者たちはヒューマノイドを開発することで、人間らしさや人とは何かを追究する。科学の根源ともいえるこの問いかけに、進化するロボットはどこまで貢献してくれるのだろうか。

ロボットという言葉はカレル・チャペックの戯曲に1920年ごろに初めて登場した。国内では69年に早稲田大学教授（当時）の加藤一郎さんが下半身型ロボット「WAP-1」を作った。加藤さんは73年に腕や足、目や耳を持つ2足歩行ロボットを開発、84年には人間に近い速さで歩くロボットを作製。2足歩行ロボットの開発で日本は世界をリードしてきた。96年にはホンダが「ASIMO アシモ」の前身となる「P-2」を公開。外部につながるケーブルがなく、自律制御ができ、完成度の高さに世界が驚いた。続いてソニーが踊るロボット「QRIO キュリオ」を開発するなど、2本の足で歩くという人間の最大の特徴を持つヒューマノイドの実現に成功した。大阪大学教授の石黒さんは99年に上半身型ロボット「ロボビー」を開発、その後も人間に似た外見のヒューマノイドの実現に打ち込んだ。2005年、樹脂でできた皮膚をもつ女性型ヒューマノイドを開発し、愛知万博に種って。06年には国際電気通信基礎技術研究所（ATR）が石黒さんそっくりの「ジェミノイドH1-1」を作り、国際的に高い評価を受けた。石黒さんはその後、百貨店で販売員を務める女性型ヒューマノイドや、人間国宝で落語家の桂米朝さんに似た「米朝アンドロイド」を開発。演出家の平田オリザさんと協力して、女性型の「ジェミノイドF」が出演する演劇も頻繁に公開。石黒さんの最終目標は「人間に似たものを作ることで人間を理解することだ」と語る。人間らしい外見や動作を突き詰めると、我々が周囲の人々のどこに人間らしさを見出すかが浮き彫りになる。ヒューマノイドの動きをさらに人間に近づけるカギが人工筋肉。東京工業大学のチームが網状の合成繊維で覆ったゴム製のチューブからなる人工筋肉を開発、約400

本のチューブの 1 本ずつに空気を送ることで、まるで本物の筋肉のように自然に動く。名古屋大学は 10 倍も伸び縮みする素材を作った。しなやかな人工筋肉を採用すれば、ヒューマノイドはさらに人間と見分けがつきにくくなる。もう一つ、表情が人間らしさを大きく左右する。米朝アンドロイドは目の開閉、眉の動き、顔の筋肉の動き方を工夫した。驚く悲しむと言った表情は比較的簡単だが、はにかむ表情が難しい。激しい怒りを表現すると樹脂製の皮膚がこわれてしまう。石黒さんは美男美女型の開発にも熱心。美しい顔や体の要素を組み合わせ「単に人間らしいだけでなく、実在の人間をどこまで超えられるかを試す」と話す。完ペきに均整がとれた人間離れしたヒューマノイドができれば、もはや人間らしさをどこまで感じられるかを確かめる。ヒューマノイドが人間に似てくれば似てくるほど、人間に与える影響が気持ち悪くなっていくという逆説がある。「不気味の谷」と呼ばれ、ヒューマノイド開発で高い壁になっていた。用途や使う場面にもよるが、人間と見分けがつかないヒューマノイドが生まれる日はそう遠くないかもしれない。

#### **2015.1.7 日経 ロボット失業、怖くない、人の仕事のトモダチだよ**

英オックスフォード大学のマイケル・オズボーンさんは「今後 20 年で総雇用者の 47% の仕事が機械化で奪われる可能性がある」と予想している。日本に当てはめると「ロボット失業」が 2600 万人となる。接客係の「おもてなし」の時間を作るのに搬送専用ロボットが作業を肩代わりするおかげでできる。情報学研究所の新井さんは「ロボットが進化していけば、「人ならでは」の仕事の価値が高まっていく」と考えている。

#### **2014.11.23 日経 進化するロボット・人工知能、幸福な共存へ知恵絞れ**

ロボットと人工知能が何度目かのブームを迎えている。人は新しい概念を思いついてそれに名前を付けることができるが、機械にはどうしていいかわからない。現在どうすれば、ロボットが言語を覚え、概念を獲得できるようになるかという挑戦が盛んに試みられている。人工知能が試験問題を解くプロジェクト、2021 年度の東大入試で合格点を取ることを目指している、すでに、私立大学の半分以上で A 判定の評価を受けている。

ロボットや人工知能の進歩に反対する「ネオ・ラダイト運動」なるものも一部で起き始めている。

人間は何をすべきか。コンピューターが苦手ない「論理と言語を駆使して高度に思考し表現する仕事」のために、教育を通じて小さい頃から「自前の脳を豊かに耕しておく」必要がある。賢くなったロボットや人工知能と人がどう折り合いをつけ、人にとって幸福な共存生活を営んでいくかを真剣に考え始めるべき時期にきている。

#### **2014.10.31 日経 医出づる国、医療・介護ロボ、日本技術が道、3900 億円市場へ**

「体調はよさそうですね」。耳元で優しい声が響く。目を開けると、ベッドサイドから覗き込むロボットのモニターに、主治医の顔が写っていた。腕にはめた腕時計型センサーが、寝ているうちに血圧や体温を病院に送ったらしい。「シャワーでも浴びるか」。不自由な足にスーツを装着すると、さっと階段を駆け下りた。SFの話ではない。全て研究中や実証実験中の技術。10 年後の先進国ではほぼ確実に実現可能。厚生労働省によると、70~74 歳

で介護が必要な人の割合は 6.3%、80～84 歳は 26.9%、90 歳超では 70%近くになっている。超高齢化社会は超介護社会でもある。若い世代に代わり、介護の担い手として注目されているのが、ロボットや I T（情報通信）技術。富士ソフトの身長 40 cm の人型ロボット「パルロ」体操の実演、動作が人間そっくり。リハビリを支援する小型機器やマイクロ波による見守りシステムの開発が進む。トヨタは歩行リハビリ用ロボットを藤田保健衛生大学と開発し、年内にも臨床研究を始める。

**2014.10.21 日経 人工筋肉もっと自然に、空気制御、滑らか新素材、しなやか、ロボットに応用、東工大、名大、電通大**

**2014.10.20 日経 老朽インフラ点検、中小活躍、無人ヘリやロボット勝代、きめ細かい対応強み、数時間が 10 分に、**

**日経 2014.10.17 ビックデータ先読みの武器「つぶやき」集めて分析**

**2014.10.10 日経 人工知能とは、自ら学習し、賢く**

人工知能（AI）とは、人間と同じ程度の知性を持ち、問題を解決したり、目標を達成したりできるコンピュータープログラムを作る科学と技術を指す。英国の数学者アラン・チューリング（1912～54 年）が先駆者といわれており、50 年代から研究が続いている。97 年に米 IBM のスーパー・コンピューター「ディープブルー」が当時のチェスの世界チャンピオンに勝った。最近では、人間が教えなくてもコンピューターが自ら学習して賢くなる「ディープラーニング（深層学習）」と呼ばれる技術が注目を集めている。

**2001.1.1 日経「スーパー技術、視界に、知能型ロボット誕生、チップが意識もち始める、DNA が情報管理、スーパーコンを圧倒、脳の開発、迷いもある、人の尊厳脅かす恐れ」**

理化学研究所脳科学総合研究センターの松本元グループディレクターは脳が持つ優れた情報処理能力に着目し、人間の思考により近い「脳型コンピューター」の開発を目指す。既存の計算機が苦手とする直観的な処理が得意で誰にも扱いやすい機械になると予測される。しかしその実現は人間の尊厳そのものを脅かす恐れがあるとも指摘する。

20 世紀はコンピューターが急速に普及した。「人間は情報なしには生きていけない。生物は食物や酸素を取り込み体内で処理して生存する。情報も同じ。人間の脳は情報を出し入れして活性化する。情報処理は人間性そのもの。便利さや効率化を求めて情報化はますます加速する。」脳を研究する狙いは、「優れた情報処理システムだからだ。情報をまず直感で判断し追加情報で補正する。例えば細くて長いものが動いたら「ヘビではないか」と言う直感がまず浮かぶ。それから情報を追加して確認する。既存の計算機は解答を得るのに最初から細かい情報を必要とする。人物を見分ける作業などをやらせると処理量が膨大になる。脳に近い情報処理であればコンピューターはさらに高速化する。」脳と計算機の違いは、「情報を処理する目的が全く違う。脳は情報を自ら選択し、その情報を処理する方法（アルゴリズム）を学ぶ。失敗などの経験を通じて目的を達成する。脳はアルゴリズムを得るのが目的で、答えはあくまでもその手段。コンピューターは計算結果などの出力が目的で、処理の方法を決めたプログラムなどの入力手段。両者は目的と手段が逆」逆転現

象が社会に影響を及ぼしているのか。「現代社会は出力（結果）を重視する傾向が強い。目標に挑戦すること自体はあまり評価せず、失敗も許さない。これでは脳本来の目的を否定されているのに等しい。また情報化についていけない人間は駄目というレッテルを張る社会になりつつある。コンピューターは人間の道具のはずだが、人間がコンピューターの道具になっている。ITの推進はこうした問題を考えて取り組む必要がある。」脳型コンピューターの実現性は。「半導体技術を用いて、脳細胞を真似た人工神経細胞チップを作った。チップが動くことは確認したが、性能はまだ十分でなく脳のような直観処理はできない。メモリーとプロセッサを一体化した新しいチップを2002-2003年の完成を目指している。既存の計算機より百万倍の計算速度を持つ革新的なチップになるだろう。」「脳型コンピューターの開発に20年以上取り組んできたが、ここ数年完成していいのかわ迷いが出てきた。新しいチップは人間の脳を置き換える可能性がある。脳は人間の尊厳であり自己を決める。その実現は人類の生存にとって良いことなのか。開発の結果に科学者も責任がある。今後、慎重に考えて研究に取り組みたい」

米カーネギー・メロン大学のハンス・モラベック教授は、2040年には人間並みの知能を持つロボットが現れると予言する。ソニーコンピューターサイエンス研究所の北野宏明シニアリサーチチャーは、ワールドカップで人間のチームを破るほどの運動能力と知能を備えたロボットチームを2050年までに育成できるとみる。21世紀に本格的な実用化を迎える大型技術が知能ロボットだ。産業革命以降、人類は機械に腕力の代用をさせてきた。20世紀のコンピューターの登場は記憶や計算と言った脳の働きの一部を機械化した。21世紀に登場する知能ロボットは知能や学習能力、柔軟で表現力豊かな身体能力を備える。人類は自らに似せた「知能を持つ機械生命」を創造し、産業革命以来の機械文明は一つの頂点に達する。

知能ロボット実現の足掛かりは「脳」だ。科学技術振興事業団・川人動態脳プロジェクトの研究者らが作ったロボットは立ち上がる動作を学ぶ。本田技研工業などが歩くロボットを実現、人型ロボットの可能性について多くの人々の目を開かせた。しかし倒れると立ち上がることは困難。その意味では1歳児の運動能力にも及ばない面がある。川人氏は脳が運動を学習する仕組みをロボット制御に応用することを研究、けん玉やテニスのサーブを学び実行できる器用なロボットを実現してきた。立ち上がるロボットは、三枚の金属板が二つの関節でつながっただけの単純な構造だが、寝ている状態から二つの関節が人の腰とひざのように連携して動き起き上がる。何度も転びながら立ち上がる練習を繰り返した結果、上手に立ち上がれるようになった。基礎研究の積み重ねが、アリ並みの知能のロボットを人間並みの知能を備え自然な動きができるロボットに育てていくことにつながる。

松下電器産業は、「賢くなるソフトウェア」の開発に取り組んでいる。あかちゃんが母親から様々なことを学ぶプロセスを研究、2015年ごろをメドに自ら成長するソフトとの実現を狙う。認知科学や発達心理学の成果も生かす。コンピューターをより使いやすくするのが研究の狙い。使う人と対話を繰り返し、その人の癖や好みを把握、次第に賢く使いやす

くなる。ロボット開発を直接狙ってはいないが、その考え方は知能ロボット実現にも活かせるはずだ。

シリコンチップの中で知能を自然発生させる。その名も「デジタル・アインシュタイン・プロジェクト」という大胆な研究が京都大学で進んでいる。同大の稲垣助教授は、マクロプロセッサ開発で知られる嶋会津大学教授と組み、人間と同じような認識・学習能力を備えた「進化チップ」を2010年までに実現させる計画。稲垣助教授は、既存の科学の枠組みではとらえにくい自然・生命現象などの解析を目指す「複雑系の科学」の研究者。チップ上のトランジスタなどの配置に複雑系の理論を応用することによって、本来プログラムで指示された命令を実行するだけのチップに「知能」が進化してくると主張する。チップが「意識を持つようになる」と言い換えてもよいとさえ言う。実現するには毎秒1兆回以上の計算ができる非常に大きな計算能力が必要だ。理化学研究所も独自の「脳型コンピューター」に取り組んでいる。人間の「意欲」や「生存本能」にあたる能力をコンピューターにもたせる狙い。これに成功すれば、コンピューターは自らをより賢くしようと環境に適応したり学習したりするようになるという。

DNA（デオキシリボ核酸）が計算問題をみごとに解いた。「DNA コンピューター」と呼ばれる全く新しい原理で動く計算機が登場した。細胞内でDNAが遺伝情報を記録し複製する仕組みを巧みに使って難問を解く。計算速度はスーパー・コンピューターの百万倍以上になるとも言われる。生命をまねた新しい計算機が情報処理の限界を打ち破るかもしれない。東京大学大学院の陶山助教授はDNAコンピューターの原理で動く計算機を初めて開発、数学の難問である「NP完全問題」を解いた。NP完全問題とは多都市を訪れるセールスマンの最短ルートを求める「巡回セールスマン問題」に代表される問題群。既存の計算機が苦手なデータの並列処理能力が試される。この種の問題を解くことは効率的な通信ネットワークや航空機運航計画などを作るのに役立つ。「DNAコンピューターの実用化の可能性が見えた」と陶山助教授は言う。新しい計算機のアイディアは1994年に米南カリフォルニア大学のレオナルド・エイルドマン教授が提唱した。DNAはアデニン（A）、チミン（T）、グアニン（G）、シトシン（C）の4種類の「塩基」という化学物質がたくさんつながった長い鎖状の分子。塩基がいわば「文字」。その並び順で情報を記録する。このうちAとT、GとCはそれぞれ鍵（かぎ）と鍵穴のように互いに選択的に統合し合う。このため細胞分裂時に、情報を正確に複製し次の細胞に伝えることができる。DNAコンピューターによる計算プロセスは一見すると化学実験と変わらない。

データやプログラムは特定の塩基配列を持つよう合成したDNA分子で表現し、計算は分子同士の化学反応の繰り返しだ。例えば「4 + 6」の計算だと、「4」「6」「+」を表す三種のDNA分子を作り試験管で反応させる。何段階かの反応の末、得られたDNAの塩基配列を読み取れば、それが答え。普通の計算ならこんな手の込んだ手法は

## 16. IoT

### 2019.2.8 日経 国が企業・個人向けに異例の調査、IoT 機器 防衛策促す、「通信の秘密侵害」避難の声も

インターネットにつながる「IoT 機器」の安全性を確かめるため、総務省が 20 日から調査を始める。ネットに直接つながったルーターや防犯カメラなどが対象だ。IoT 機器はセキュリティ対策が不十分なものが多く、サイバー攻撃の温床になりやすい。政府が企業や個人の機器に一方的にアクセスすることは世界的にも異例で、丁寧な説明が必要だ。

IoT はすでにサイバー攻撃の対象だ。情報通信研究機構によると、ネットに接続している国内のパソコンや機器が 2017 年に受けた攻撃は 1 台あたり約 56 万件で、12 年の 10 倍になる。防犯カメラや携帯型ルーターなどの IoT 機器が半数を超える。乗っ取られると、悪質なハッカーに操られる。米国では、16 年に、10 万台以上から大量のデータを送りつけるサンバー攻撃が起きた。サーバーがパンクして通信障害が発生し、ツイッターやアマゾン・ドット・コムが一時的に利用できなくなった。

### 2018.9.4 日経「考える工場」日本勢反抗、IoT で多品種少量、生産、先進国回帰も

工場の生産ラインが需要動向や製造品目を自ら判断する「考える工場」の実現が近づいてきた。自動化で人手が減り、低コスト国に工場が移る過去半世紀の流れが逆流。先進国に生産地を戻す動きが起きている。工場の「頭脳」を押さえて産業の覇権を握ろうとする米独に対し、日本企業の動きが活発になっている。3 日に日本電産が発表した独ロボット部品会社の買収は製造業のデジタル化を促す第 4 次産業革命の技術に長じた独企業を次々に傘下に収める計画の第 1 弾だ。子会社を通じて来春までに独企業を計 5 社買収し、工場の自動化に欠かせないロボットの基幹部品や工作機械の技術を獲得する。

### 日経 2017.11.6 超小型衛星、自動で撮影、東大など、管制から指令軽減、災害時の地上観測素早く

東大と JAXA などは、地上を観測する際に飛び方などを自ら判断して撮影する超小型衛星を開発した。指定した観測地点に来ると地上の方向などを見極めて撮影し、管制局の上空に来た時にデータをまとめて転送する。地上から指令を送る手間を減らせるほか、少ない管制局でも運用が可能になる。多数の超小型衛星を連携させながら運用する際の基盤技術になる。

### 日経 2017.8.16 IoT 対応、無人工場、ひびき精機、航空機部品製造、3 年後メド、生産効率化

精密加工のひびき精機は、3 年後をメドにモノがネットにつながる IoT 対応の無人工場を建設し、航空機部品を製造する。同社の主力である半導体製造装置向け部品が好調なのと、航空機部品製造を新事業として 2020 年以降に立ち上げることに対応する。IoT 化によるジャストインタイムの納入と生産効率化で、競争力を高める。

下関市菊川の本社敷地内に、3 年前に完成した第 2 工場と同規模の約 2000 m<sup>2</sup>の建屋を 21 年までに建設する。設備などを含め投資額は 8 億円程度を見込む。新工場には、受発注デ

一タとリンクした製造機器の稼働状況をネットワークで可視化、自動制御する IoT を導入する。ある取引先向けのある部品をどの機器が製造中で、どういう進捗状況にあるかをリアルタイムで見られるようになる。製造機械も基本的に無人対応する意向だ。工場建設に先立ち、今年中に IoT 化の実験を行う。第 2 工場の空きスペースに機械を入れ、2 千万円を投資して 2 階にサーバールームを設けて実験する。新工場では三菱重工業や IHI など向けの航空機器部品を中心に製造し、3 億円程度の売り上げを目指す。当初、航空機事業は 3 年前から第 2 工場に対応する計画だったが、三菱航空機の新型旅客機「MRJ」の量産がずれこむなどした影響で、計画を見直していた。この間、韓国、中国を中心に需要が伸びている半導体製造装置部品の注文が増えて第 2 工場の稼働が安定したこと、航空機事業の後ずれ、建築費高騰という外部環境の変化もあって、「3 年後の新工場が最適と判断した」としている。新工場の稼働状況をみて既存の第 1、第 2 工場も IoT 化する考えだ。新工場の立ち上げ効果が段階的に発現することも踏まえ、21 年 8 月期の売上高は、16 年 8 月期比で 9 割増の 25 億円を目指す。ひびき精機は 1967 年創業の精密部品製造を得意とする金属加工メーカー。第 2 工場建設時の 14 年 8 月期は売上高 8 億円だった。だが、新工場建設に 8 億 5 千万円を投資するという計画で話題を呼んだ。17 年 8 月期の売上高は 14 億 8 千万円で 3 期連続の 2 ケタ増収を達成する見込み。

#### IoT 工場

IoT はあらゆるモノがネットワークに接続、それぞれが自律的に動くようになる環境を刺す。工場に導入する場合は「スマートファクトリー」とも呼ばれる。工場内のセンサーや製造機械、記号の受発注、販売現場から得るビックデータを解析・活用して設計・生産段階にとどまらず流通、販売、保守まで可視化することで、製造業の革新を目指す。第 1 段階は見える化で、製造工程や受注状況などをグラフや数値で視覚化する。次に分析したデータから最も効率的な制御を導き出す。最終的には人工知能やロボットなどで制御を自動化しつつ、自律的に選択して動くようにする。

#### 読売 2017.7.15 IoT 裏方なんです、データ活用、何をつなぐか

いろいろなモノをインターネットにつなぐ IoT(Internet of Things)。モノのインターネットと呼ばれ、成長戦略を支える柱の 1 つだ。ただ、モノとモノをつなぐと言われても、すんなりと理解しにくい。どういうものか。期待を集めるのはなぜか。情報通信技術 (ICT) と社会変革に詳しい森川東大大学院教授に聞いた。

ごみ箱やお笑いに

IoT とは、どういうものか。「これまでインターネットにつながるものは、パソコン、スマートホン、タブレット端末を前提にしていた。IoT では、ネットにつなぐものが家電、自動車、センサーなど様々なものに広がる」これまでになかった新しい試みなのか。「構想や技術は昔からある。だが、2015 年以降、注目が一気に高まった。関連する技術が進歩したこと、IoT という名前の良さが影響している」名前の良さとは。「モノとつながっている点だ。モノならうちの会社にも関係する、と多くの企業経営者が関心を持つ。ただ、何をしたらいいか

がわからない。経営者向けに講演をすると、不安や焦りが伝わってくる」モノとモノをつなぐと言われてもピンとこない。具体例を教えてください。「例えば、公園のゴミ箱。センサーをつけてネットにつなぐと、ゴミの量をネットで確認できる。それをもとに、収集車の台数や走らせる頻度を判断する。データなしの場合よりも、人件費、ガソリン代の節約になる。交通渋滞の緩和にもつながる。米国では回収コストが3分の1になった、という報告がある」「日本でも赤字のバス会社が、衛星を使った位置情報と乗降客数を数えるセンサーをネットにつないで黒字化した。データを継続的に探り、それをもとにバス停の配置や時刻表を見直した。人が観察して数えても同じことができるが、そういう領域にもIoTが進出している」「スペインのお笑い劇場は、客が笑うごとに課金するシステムを試作した。前の座席の背にタブレット端末を取り付け、そのカメラで笑った回数をとらえる仕組みだ」じわじわ浸透

情報通信技術（ICT）とは一見関係なさそうなものがつながっている。「そうだ。IoTの本質は、センサーやネットを使って、アナログのものをデジタル化することだ」ちょっと難しい。もう少しわかりやすく説明してほしい。「デジタル化とは、簡単に言えば、ネットにつながるようにすることだ。企業経営者などに僕はいつもこんな話をする。皆さんの仕事のプロセスの中で、ネットにつながったら便利になりそうなものはないですか、それがIoTの候補です。何をつないだらいいか実は僕にもわからない。現場を持つ皆さんと一緒に考えていきましょう、と」何をつなげるかは創意工夫次第ということか。「そうだ。生産性向上や、新ビジネスを生む可能性がある。職人さんの経験や勘などは、IoTに取って代わられるかもしれない。一方、人間でないとできない判断業務は残るだろう」社会や経済にどんな変化をもたらすか。「ネットやスマホのような、すぐに一目でわかる変化は起きない。IoTの仕事はデータを採ること。例えば、自動運転のためなら、走行速度、前の車との距離などの各種データを集める。つまり裏方だ。華々しく目立つのではなく、10年、20年かけてじわじわと産業や暮らしに入り込んでくる」そうすと知らないうちにセンサーで自分のデータが集められたり、職場で生産性がチェックされたりするようになるのか。「そういう側面もある。どこまでデータを活用していいのか、社会で考えないといけない」

制御して安全に

技術面の課題は。「ネットの「交通整理」が重要になる。IoTの特徴は、公園のゴミ箱など、玉石混合の膨大なものがつながることだ。」ゴミ箱のデータも、最先端のデータも同じネットに流れるということか。「そうだ。今、ネットに流れているのは、門司、音声、画像、動画だ。IoTでは、ゴミ箱のような、たまにちょろちょろとしかデータを流さないものも混在する。そういうものをうまく制御して安全かつ効率的にネットを利用する技術を考えていく必要がある。」いろいろなものがつながるマイナス面は。「サイバー攻撃の危険が高まる。被害も大きくなる。たまにちょろちょろとしかつながらない危機はセキュリティーが緩くなる。「通信の秘密」に抵触する心配があるので、通信事業者は利用者に個別に「攻撃を受けている」などといった注意喚起をしにくい。今後、こうした面の対策も必要になる

だろう。

#### 日経 2017.7.4 育てドローン操縦士、産業・防災・・・熟練技術必要に、全国で教室設立相次ぐ

ドローンの操縦方法を教えるスクールが、全国で続々と設立されている。ドローンを飛ばすこと自体は難しくないが、測量・物流といった産業面や、災害現場での活用には技量が必要とされ「熟練操縦士」の育成が急がれている事情がある。

3月、山梨県甲斐市にある日本航空学園運営の「ドローンパイロットスクール」。10代から70台の14人がコントローラーを操り、ドローンをホバリング（空中停止）させたり、十数メートル間隔で置かれた三角コーンの上空を往復させたりしていた。

同スクールでは実技のほか、航空法や電波法、雲の流れや風向きから天気の変化を把握できる知識などを学ぶ。3月に受講者資格を20歳以上から16歳以上に引き下げた。同県都留市の高校1年、畑野さんは「実践的な授業で勉強になる。将来は防災や人助けに生かしたい」と話す。

業界団体の日本UAS産業振興協議会やドローン操縦士協会によると、同様のスクールは5月末現在、全国で100校を超えた。測量に使われるドローンの多くは全地球測位システム（GPS）を搭載。通常はプロペラが自動調整され、風に流される心配は少ないが、システム不調時にも安定飛行させるには一定の操縦技術が求められる。山梨県測量設計業協会は6月から、ドローンパイロットスクールに会員企業の社員のあっせんを始めた。「ドローンは対象物に近接して測量できるし、作業効率も上がる」と担当者は期待する。

山岳遭難など災害現場の不明者捜索にも有効だ。徳島県の鳴門市消防本部は、体温を感知する機器を搭載したドローン1台購入。外部講師を招き、職員に操作技術を習得させた。「ドローンと操縦士を増やしていきたい」としている。日本UAS産業振興協議会の熊田事務局長は「産業面での活用はまだ始まったばかり。機器トラブルであらぬ方向に飛んでいった場合も、冷静に適切に対応できる操縦士の育成が急務だ」と話している。

#### 2017.6.10 日経 自動工場進化中、ローム低コストでIoT、日本電産昇降機に乗るロボ、深刻な人手不足に対応

深刻化する人手不足に対応して、工場の自動化を進める新技術の開発が相次いでいる。日本電産はエレベーターを自ら乗り降りできる自動搬送ロボットを製品化。ロームは建物の階をまたいでデータをやり取りできる無線通信技術を開発した。生産現場の省力化に伴い急拡大が見込まれる次世代型のFA（工場自動化）機器・システムの需要を取り込む。

レーザーで感知

日本電産子会社の日本電産シンポはエレベーターの前で無線で行きたい階を指示して自動で乗り込む自動搬送機を開発した。人が降りてきた場合にはレーザーで感知して、乗り込めるようになるまで待機する。工場では階をまたいだ自動搬送が可能になる。従来の自動搬送機はフロア内の移動に限られていた。1トンの重さの荷物を運べる製品を月内に発売する。自動搬送機の売上高を2020年度に17年度の10倍の150億円まで拡販する。

はあらゆるモノがネットにつながる「IoT」を工場内で低コストで使いやすくする通信技術を開発した。飛ばせる距離が異なる複数の方式の無線を橋渡しして、階をまたいでデータをやりとりできる。

### 3次元で把握

大規模な通信設備を導入しなくても、生産ラインの稼働状況や異常の把握を工場管理者が無線で集約できる。ロームの部品やセンサーを既存の設備に組み込むだけでシステムが構築でき、一から専用設計する場合に比べてコストが半分程度で済む。年内に発売する。オムロンは7月に買収するカメラ大手のセンテックと新型カメラの開発に乗り出す。工場の生産ラインやロボットの腕に取り付け、高画質の画像を高速で連写して複数画像を組み合わせ、3次元で製品を把握する。精密部品を人が手にとって全体を目視してチェックする工程でも、ロボットが人の目に代わって高度な品質チェックをすることが可能になる。富士経済によると、工場の自動化による次世代型のFA機器・システムの世界市場は17年の約2兆4500億円から22年に2.8倍の約6兆9600億円に拡大する予定だ。ファナックは約630億円をかえ、筑波工場の隣接地に産業用ロボットの工場を新設する。同工場の建設などにより、最終的には月産台数を1万1千台と現在の倍近い水準まで引き上げる方針。川崎重工業は、15年6月に発売した、人と同じラインで働ける「協調型」双腕ロボット「duAro（デュアロ）」の販売台数が約2000台に達した。人手不足などの影響で産業用ロボットの需要が急増する中、関連企業の技術開発や設備投資が加速しそうだ。

### 日経 2017.2.27 患者の社会参加・高齢者の相手・・・会話型ロボ開発を担う、VB、大手と提携、IoT 端末視野、法人レンタル

離れた場所にいる人と会話したり、病気の子供が自宅に居ながらにして授業に参加したり。ベンチャー企業が家庭や教育の現場に溶け込む会話型の卓上ロボを開発している。連携先を大手企業や技術力のある中小企業のネットワークにまで拡大し、事業基盤の確立を急ぐ。「駅に着いたよ」。仕事を終えた都内在住の男性がスマートフォンに入力した伝言を自宅のダイニングテーブルに置いたコミュニケーションロボット「ボッコ」が音声で再現した。「分かった。今から迎えに行くから」。ボッコに妻がそう答え、子どもと一緒に駅に出かけた。ボッコはロボット開発VBのユカイ工学（東京・新宿）が開発。スマホと連動して文字を音声に変換したり、音声の伝言を送信したり、遠隔から自然に会話ができる。価格を約3万円に抑え、インターネットなどで販売している。利用者は数千人いるという。会話ができるだけではない。「歯を磨きなさい」「寝る時間だよ」・・・。「ロボットに言わせると、発言が迫力を増し、子どものが聞いてくれる」。ユカイ工学の青木CEOは自身もボッコを使って検証済みだという。もともとは自分の子どもとの会話をより大切にしたい思いから、ボッコを発案した。将来は家電製品とも連動させ、あらゆるモノがネットにつながる「IoT」端末を目指して家電メーカーなどとの連携に取り組む。家族との会話を円満にする道具として注目を集めているコミュニケーションロボット。新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）によると、国内生産は2015年の3億円から25年には36億円に拡大。さら

に 35 年には 341 億円にも増え、市場が急成長するという。製品開発はユニークな発想を持ち、迅速に動ける VB が先行する。オリィ研究所が開発している対話ロボット「オリヒメ」は学校や病院で活躍する。カメラとスピーカーを内蔵し、利用者はパソコンやスマホで遠隔操作。オリヒメの近くにいる人と会話ができる仕組み。16 年には VC などから 2 億円以上を調達し、生産を約 500 台に増やした。今年には 1000 台の増産を目指す。オリィ研究所のビジネスモデルは、ロボットを法人に貸し出すことが特徴。月額 3 万円からのレンタル料で安定した事業基盤を築き、利用者の幅を広げていく。今年には病院への提案に力を入れる。ALS 患者の社会参加を支援する。ロボット VB を支えるのは設計図を形にする中小のモノづくり企業だ。町工場が立ち並ぶ墨田区。オリヒメの試作品はその 1 社、浜野製作所が製作、VB の有望性を見極めて出資し、積極的に支援する。・・・大手企業も VB を中心にした開発の輪に入っている。人工知能を搭載し、一人暮らし高齢者などの会話の相手になるロボット「ユニボ」を開発しているユニロボット。同社は富士通の VC やニコンなどが設立したプライベートファンドなどから約 3 億円の資金を調達した。そればかりではない。今後は販売に関しても大手パートナーの力を借りる。ユニロボットの酒井代表は「彼らの販売網を使い、ソリューションの中でユニボを提案してもらいたい」と話す。老人ホームなどへの販売を強化し、収益固めを急ぐ。アジアを中心にした海外展開も視野に入っている。

#### 日経 2017.2.27 AI が発注、ロボ陳列、コンビニ向けにシステム、産総研

産総研は、人工知能とロボットを駆使したコンビニエンスストア向けのシステムを開発する。AI が購買履歴から売れ筋商品を発注して管理し、商品の補充や陳列棚への配置などの作業をロボットが担う。コンビニ業界の人手不足の解消につなげる。2018 年までに模擬店舗や必要な設備を産総研の人工知能研究センターに整備して実証実験する。改良を進めて 20 年の東京五輪で披露する計画。

#### 2016.2.7 日経 産業用ロボットどう進化？自学自習、工場働きやすく

製造現場の人手不足が深刻化する中、産業用ロボットの技術進歩が著しい。人と隣り合って作業する協調型や、人工知能 (AI) の活用により、動作プログラムを人が入力するティーチングの負担を軽減した製品が浸透し始めた。ロボットの活用が広がることで製造現場はどう変わるのか。ファナックの社長に聞いた。産業用ロボットは近年どう進化しているのか？「2つの流れがある。1つは表面を軟らかい素材で覆い、人と接触するとセンサーで感知して停止する協調型ロボットの登場。これまでは作業員の安全確保のため、柵の中に隔離しなければならなかった。協調型は人とロボットが同じ作業を分担するなど柔軟にラインを組めえるようになる。」「AI のソフトを導入することによる進化も顕著だ。自ら見て、学ぶことで動き方を改善する。人間に一步近づいた存在になる。ネットワーク接続により、ロボット同士がコミュニケーションをとり、作業の分担を相談するような機能の開発も進めている。」今後の技術目標は「ロボットは正確な動きはできるが不器用だ。軟らかいケーブルをつかみ、ねじりながら差し込むような動きを実現することを目標に置いて

いる」「米シスコシステムとロボットの故障予知に取り組んでいる。産学連携をと強め、外部の技術でプラスになるものはどんどん使う」ロボットの活用で製造業は変わりますか「製造現場は今後、2、3年で大きく変化するだろう。昨年発売した強調型ロボットは最大で35kgの部品を持ち運びでき、女性や高齢者が働きやすくなる。AIの活用により、煩雑なティーチングの負担が減り、工業製品の製造だけでなく、食品や物流などの産業でロボットの導入が進む」ロボットは雇用を奪いませんか？「ロボットは生活を豊かにする道具。人間の作業時間を短くすることで、工程管理などロボットができないことに充てる時間を増やせるようになる。ひとの仕事はなくなるらない」。

#### **2015.2.25 日経 無人ヘリ、樹木の下も測量、地形、レーザー使い正確に、自治体防災など照準、ルーチェサーチ**

小型無人ヘリ（ドローン）での測量を手掛けるルーチェサーチが、レーザーを上空から照射し、樹木で地面が見えない部分でも正確に計測できる仕組みを開発。防災計画を進める自治体などの需要にこたえる。

#### **2015.1.18 読売 産学タッグ医療に新風、マッスルスーツ、腰痛めず、**

東京理科大学発のベンチャー企業では、「マッスルスーツ」を昨年11月から発売。人工筋肉の役割を果たす4本のゴムチューブが付いており、かがんだ状態で背中中のチューブに空気を注入する。

#### **2015.1.17 日経 農作物、楽々運搬スーツ、クボタが装着型機械、来年にも発売**

パワーアシストスーツ、電動モーターで野菜や果物を楽々とも仕上げ、足腰の負担を和らげる。

#### **2015.1.9 日経 トンネル事故把握へ、ロボットで実験、**

国土技術政策総合研究所は、3日、中央自動車道笹子トンネル天井板崩落のような事故や災害発生時に、カメラ付ロボットでトンネル内部の状況を把握するための実証実験を公開した。民間企業や大学で構成する6つの研究チームから各1台のロボットが参加し、遠隔操作で前進させたり、プロベラ付ロボットを飛ばしたりした。トンネルの途中には事故や災害で動けなくなった車両や、流入してきた土砂、落下した天井板に見立てた障害物を設置。無事に障害物を通過したロボットでも、外部からの電源供給が不可能な状況を考えれば、稼働時間が短いといった課題が指摘された。今回の実証実験などを踏まえ、2017年度に現場での本格導入を目指す。

#### **2014.10.5 日経 産業用ロボ、多能工の時代、双腕型、工場も研究室も**

製造現場を支えてきた産業用ロボットが進化している。人間のように2本の腕を器用に操る「双腕ロボット」の登場。従来のロボットは溶接や運搬など単純な作業を速く正確にこなしていたが、熟練技能者に頼る複雑な作業もできる。創薬や臨床検査、研究現場など、これまで使われなかった現場への用途が広がりそうだ。

#### **2014.9.25 日経 パナソニック、介護ロボ、16年度参入、100万円弱想定**

高齢者が立ち上がったり、座ったりするのを補助するロボット。介護ロボは高齢者が附

属の専用ベストを着て使う。

#### **2009.10.25 日経 微小ロボ、体内手術へ起動、患部狙って検査、操作の研究進む**

マイクロロボット；寸法がマイクロメートル(100 万分の 1)メートルサイズのロボット。カプセルなどに入れて使いやすくし、微小物体を動かすことができるタイプも含む。例えば、人間の体を構成する、大きさが 5~100 マイクロメートルの細胞や、細胞の中にあり数マイクロメートルサイズのミトコンドリアなどの細胞小器官を動かせる。日本が得意とする半導体の大規模集積回路 (LSI) の製造技術や、さらに細かい加工を伴う最先端のナノテク (超微細技術) で作れるようになった。体内に入れても途中で引っ掛かり悪さをする危険性が低いので、医療分野などへの応用が期待される。

#### **2014.12.9 日経 考える工場、ドイツから新産業革命**

車、電機、機械産業が集うドイツ南部。後世の歴史家はこれを「21 世紀の産業革命発祥の地」と命名するかもしれない。カイザースラウテルンにある人工知能研究センター。シーメンスなど独製造企業 10 社が参加する「近未来工場」の実験が始まった。生産する製品の材料が近づくと、機械がチップの情報を読み取って必要な工程を指示し、複数の生産設備を最適のラインに組み替える。人は不要。機械同士が「会話」して、どんな製品でも生産する究極のフレキシブルラインだ。まずは日用品が対象だが、機械部品や自動車部品などなんでも応用できる。「インターネットの進歩で究極の多品種少量生産が可能になった」。狙うのは工場の枠を超えた連携だ。自動車なら素材や部品メーカーから販売店、電力、輸送会社などまであらゆる産業がネットでデータをやり取りする。極めれば在庫ゼロ、人件費やエネルギー消費も最小化できる。いわばドイツ国内が「1 つの仮想工場」。10 年以内に独製造業の生産性を 5 割前後高めるといふ。キーワードは「第 4 次産業革命」を意味する「インダストリー 4.0」だ。18 世紀の綿織物工業の機械化が第 1 次産業革命。電気による大量生産時代が 20 世紀初頭が第 2 次産業革命、コンピューターによる自動化が進んだ 1980 年代以降が第 3 次産業革命。第 4 次産業革命は自動化された工場が業種を超えてネットワーク化され、国家として立地競争力を競う時代と考えればよい。米国やアジアとの競争を前に「ドイツの強みである製造業を底上げする」。

ロボットの導入が本格化し始めた中国でも、政府内で 25 年までに製造業を智能化させる計画づくりが進む。10 月、メルケル首相と会談した中国の首相李克強は「4.0」関連の技術交流や標準化への協力でも合意した。

IT の進化など製造業を取り巻く環境が激変している。日本のものづくりは新たな価値を築けるか。

#### **2014.11.20 日経 国内最大級の環境都市始動、成長モデル湘南から、パナソニック、「街丸ごと」でアジア攻略**

パナソニックが進める藤沢市のスマートシティーの概要；面積は東京ドーム 4 個分、総事業費は約 600 億円、完成は 2018 年、計画人口は約 3000 人、街全体で二酸化炭素を 1990 年比で 70%削減、約 1000 戸の住宅全てに太陽光発電と蓄電池。センサー付き街路灯、エ

コカーの共同利用。

パナソニックの役員は、百年先まで持続する街を目指し開発してきた。このモデルを世界に展開したい。冷蔵庫などを生産してきた工場の広大な跡地に戸建て住宅 600 戸、集合住宅 400 戸を建設する。商業施設、公共施設も設ける。すでに、120 戸が分譲済みで、2018 年に街全体が完成する。売りは環境対応。全住宅に太陽光発電と蓄電池があり、見える化で省エネを促す。住民は余った電気の売却で収入を得られるほか、災害時は非常用電源にも活用できる。発光ダイオード (LED) 街路灯と連動した監視カメラで安全性が高く、コミュニティールームには工作用 3D プリンターを設置。戸建ての価格は 5 千万～6 千万円大。JR 藤沢駅から約 2 km の場所。住宅や街に導入される機器や資機材の大半をパナソニックグループが供給する。住民の健康管理支援なども含めて、30 年間累計で 400 億円の売り上げを見込む。