

マット製造ラインの生産性向上 「見える化」の検討

牧野 俊昭^{*1} 福田 航志^{*2} 関山 真一^{*3}

Study on Mat Production Line using Examination of “Visualization”

Toshiaki MAKINO^{*1} Koji FUKUDA^{*2} and Shinichi SEKIYAMA^{*3}

Abstract

In the manufacturing site, business management between visualization and organization of automation has become an issue for productivity improvement. It is a communication network design and automatic monitoring system. Low power radio module microcomputer based on multi-functional filter Corporation has examined the visualization of the production line for the productivity improvements. Occupancy rate is 30% by large manual labor in the current production line manual. But, 56.6% of capacity utilization by reducing the waiting time of the process throughout is expected by the equipment automation. Furthermore, time loss to product cutting accounted for 57.9% as a whole with the current production line. The operation of the main factors is "cutting operation" of the line stop. Therefore, I was experimented the network that assumes visualize the operation status of that operation. 900MHz small tabletop antenna sending and receiving results of the experiments. It is possible to cover the actual factory range (about 70 square meters).

Key Words: Mat Production, Radio Frequency, Visualization

1. 緒言

今日、地球温暖化、フロンガスによるオゾン層破壊、硫黄酸化物などによる自然環境破壊が進んでいる。特に、その領域は地球規模に渡る深刻な問題として提言されている⁽¹⁾。又、環境異変に伴う局所的な集中豪雨、水害、旱魃などの異常気象による災害は、増加傾向にある。近年、わが国でも集中豪雨などによる土砂の崩落や土石流で貴重な人命、耕地が消失する事例が相次いでいる⁽²⁾。特に、土砂災害により裸地化した山地斜面は、放置し続けると更なる自然災害を招く要因になるため、法面保護施工による事前防災が重要になる。この様な状況下において、20年間にも及ぶ法面緑化工法の開発から製品（多機能マット(MFマット)）を製造

販売し、全国規模にまで営業拠点を拡大し、年10億円の売上げを上げている「多機能フィルター株式会社」の企業努力に頭が下がる。

今回、植生マット工および客土吹付工の緑化工法による最大の利点を活かしている「MF マット (Multi Function Mat)」の製造時における「見える化」を研究テーマにした。特に、MF マットの需要増加に伴い、「製造ラインでの稼働率が低い」ことが指摘されており、製造ラインの稼働率向上が課題になっている。特に、MF マット製品を生産する B ラインでは、手作業主体による時間ロスが多いことから、自動化要素を取り入れた新設 B ラインが検討されている。生産性向上の基

^{*1} 機械電気工学科

^{*2} 日立交通テクノロジー株式会社

^{*3} 多機能フィルター株式会社

本は、1) 無駄時間をカットした稼働率向上である。2) 一定時間内の量および質を高めるための自動化である。

これらの問題を解決する有効策として、製造現場での自動化及び稼働ロスの可視化に注目した。これらを行う上で求められるのが、製造ラインの自動監視システムと通信ネットワークの設計である。大手企業では、実際に製造ラインを可視化し、監視通報するリアルタイムシステムを提案している³⁾。しかし、中小企業レベルにおいて、稼働可視化システムにおける開発や導入設備コストなど、多大な課題が降りかかる。

本研究では、現行の生産ライン自動化に際し、生産効率の向上に関する課題として、低コストな「視覚化・分析システム」を検討する。そのシステムは、LSI 技術を用いた「特定小電力無線通信マイコンモジュール」と、低コスト「見える化」システム構築である。又、製品および製造工程の現状調査と問題提起について述べ、マイコンモジュールを用いた可視化による無線通信実験を行い、通信性能を明らかにした。

2. MF マットの生産性向上の検討

本章では、本研究で可視化検討の対象になる多機能フィルター株式会社が製造する MF マット製品および現行製造ラインにおける生産現状についての資料や文献⁴⁾から、現状の製造工程上での問題点・課題を上げて、対象とする可視化項目について検討した。

2.1 MF マットの概要

MF マットは環境保全と自然復元を理念に、山口県下松市に本社を置く多機能フィルター株式会社が開発・製造した防災及び環境再生効果をもつ養成マットである。製品開発の発端となったのは 1987 年で、背景として従来の法面緑化工法が大面積を短期間で施工を行う機械散布による急速緑化工法が主体であったことに由来する。開発の起点となった当時の総合緑化株式会社の坪井氏や常村氏は、この外来草本を急速に生やし、根の緊縛力によって法面を保護する急速緑化工法に疑問を抱いた。遅速であっても確実に降雨等の厳しい環境下からの法面を保護し、目的の草本、木本による計画的な緑化工法の開発を進めるため、元山口大学学長丸本卓也氏と共同研究を開始した。図 1 に急速緑化工法である植生基材吹付工と MF マット施工による自然環境復元工法との緑化復元状況の比較を示す。

開発のコンセプトは、MF マットの心臓部となる雨水の排水層から植物を保護する。

1) 不織布構造体（ウェブ）の構成材料となる繊維の配合組成を行う。2) そのウェブを織る（絡ませる）機械を開発する。3) シートを構成する補強ネット、裏紙の材質およびその構造を開発する。4) 培地組成及び肥料を設計する。5) これらの総合製造システムを確立する。

特に、心臓部となるウェブ層は排水機能と保水機能を有し、装着した種子が貫通し定着することが最重要要件となる。これらを満足する条件を導くのに 3 年間の歳月を要している。

図 2 に MF マット製品の一例を示し、図 3 に MF マットの心臓部となる不織布シートの基本構造を示す。不織布とは、繊維を紡いだり織ったり編んだりせず、繊維間を融着や機械的、科学的作用により結合、あるいは絡み合わせたシート・ウェブまたはバット状の繊維のことである。その素材はコットンや麻、ウールなどの天然素材をはじめ合成繊維、再生繊維、さらには紙の原料であるパルプ等あらゆるものが使用されている。多孔性構造となっているため、通気性、吸水性に富み保温性が高い特徴を有している。特に、様々な製造工程によって応用性の高い機能を付加することが出来る。近年、土木・建設用途でも植生マットおよび人工芝素材として使用されるようになってきている⁵⁾。MF マットは、この不織布を用いた本格的な緑化養成シートとして研究実用化された。文献では、不織布シートの土壌浸食防止と緑化に関して以下の事を示す機能を有することが、記載されている⁶⁾。

- 1) 流化水の排水
- 2) 泥水の減少
- 3) 土壌浸食の防止
- 4) 乾燥による害の軽減
- 5) 表土の温湿度変動の減少
- 6) 冬期の凍結害の軽減
- 7) 根域環境の改善



Fig. 1 Comparison of the conventional greening method



Fig. 2 Multi function mat (Filter)

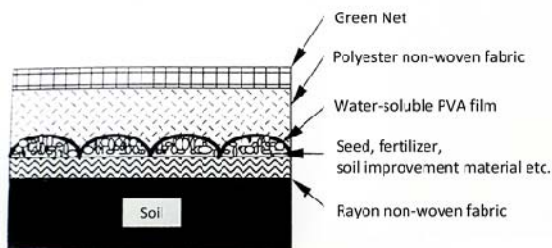


Fig. 3 The basic structure of the non-woven fabric sheet

2009年、山口・防府豪雨災害で発生した土石流の浸透流に関して、非定常FEM解析による多機能フィルターの浸透抑制機能の検証を行った文献⁴⁾では、現地状況に基づく土層構成（広島型花崗岩）、斜面勾配、境界条件を踏まえ、解析した。解析したケースは、「表土なし+高透水層ゾーンケース」で比較検証をしている。 g を重力加速度、 γ_s を土粒子の水中質量、 A を土粒子の浸透流を受ける断面積、 γ_w を水の単位体積重量、 G_s を土粒子の真比重（=2.62）、 d を粒径 D_{10} （=0.003（cm））とすると、花崗岩風下層内の限界流速 v は式（1）によって表される。

$$v = \sqrt{\frac{(\gamma_s \cdot g)}{(A \cdot \gamma_w)}} = \sqrt{\frac{\left\{ \frac{2}{3} (G_s - 1) \cdot d \cdot g \right\}}{3}} = 1.78 \text{cm}, \quad \text{--(1)}$$

式（1）により、花崗岩風下層内の流速は十分に遅い。また、この時のパイピングによる安全率 F は、 G_s を土粒子の比重（=2.62）、 e を開隙比（=0.7~0.8）、 h_a を検討する点の水頭、 D を検討する点の深さとする、式（2）によって算出される。

$$F = \frac{\left\{ \frac{(G_s - 1)}{(1 + e)} \right\}}{\left(\frac{h_a}{D} \right)} \quad \text{--(2)}$$

その結果、完全に表土がなく基盤境界付近に高透水層が分布する「表土なし+高透水ゾーンケース」に対し、当時の降雨境界を与えると安全率 $F < 1.00$ となり、土石流発生状況を再現する結果が得られた。次に、同様の降雨境界で「表土なし+高透水ゾーンケース」斜面モデルに、多機能フィルターと同厚となる厚さ1.0cmの透水層を設置した場合は、前述と同様の斜面モデルにあるにも関わらず浸透抑制効果が確認された。これらのことから、浸透破壊に対する安全率が ΔF_s と0.058に上がり、斜面が安全状態になる。この事から、斜面表面に対する流下を促進し、土石流の要因となる浸透破壊を抑制する防災特性を有することが分かった。

以上のような特性を活かし初出荷に至るまで様々な試行錯誤を重ねたことで、MFマットは97~98%の空隙率をもった不織布構造体（ウェブ）で、通気・通水自在、あらゆる環境の変化（降雨、風、凍上、旱魃）から土壌を保護する機能をもつ製品になった。最大の特徴は、法面被覆材として極細の撥水性繊維を用いている点である。これにより、侵食防止機能を持つことから土壌浸食および濁水防止効果が可能である。さらに、発芽・生育の早い外来植物の粘り効果を期待しなくて良い。また、郷土植物や木本系植物を主体とした緑化が可能になり、自然環境復元工法の発展に尽力し続けている。

2. 2 現行の製造ラインにおける生産現状

1994年の創業開始から9年後になる2003年、開発者の1人であるセントラル硝子株式会社の山本一夫氏（現多機能フィルター株式会社代表取締役社長）は第一次5ヶ年計画のもと次の5つの経営開拓に着手した。

- 1) 多機能フィルターの主力製品を活かせる市場を特化する。
- 2) シーズを活かした新商品を開発する。
- 3) 他社とのコラボによる新市場を開拓する。
- 4) 販路を開拓する。
- 5) 製造コストの削減に取り組む。

経営基盤の強化のため外部から即戦力となる人材の補強を含め企業体質の改善と強化に着手した。図4に売上高と出荷量による業績の推移を示す。図4より、2009年以降は平均で100万 m^2 ~120万 m^2 の販売で推移している。第一次の企業体質改善と強化の結果、徐々に業績は改善したものの各部門の業務管理、経営改革には程遠く年次経営成果（目標）ではなかった。

安定経営に対して浮き彫りになった課題は、主に営業力不足と、老朽化した旧式の製造ラインによる品質管理の不備、納期の遅滞、出荷ミスによる製造能力の限界などであった。そこで、当時の多機能フィルターの特化市場（ダム、河川、寒冷地、悪質法面等）への

更なる開拓と共に、代理店組織の整備と育成、市場ニーズへの迅速対応を主幹とし営業展開を図っていった。その結果、新たな製品開発やOEM 商品が増え、国土交通省や林野での大型物件も受注し、新規市場への販路開拓の足掛かりになった。特に、営業部門に関してはその後、2013 年度までに47 都道府県への導入と三大都市圏への営業所設立によって、ほぼ全国展開を実現した。また、NETIS-V 取得による他社との差別化および業界からの信用を得た。さらに、商品開発における基本特許の新たな登録、各種土木資材およびOEM 製品の開発、農業資材開発に取り組むなど、新市場開拓を行っている。

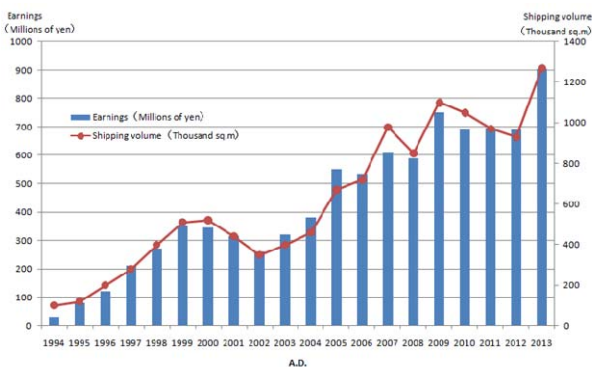


Fig.4 Multi-function filter's performance trends

一方、現行の製造ラインにおける生産能力の課題に対しては、新ウェブラインの新設、新Cライン(2基)の新設及び大型倉庫・研究室の新築、本社の新築などの設備強化を図った。また、200~300万m²増産と新製品の開発ヤード、倉庫増設に向けて山口県下松市の山林(2,535 m²) 購入および造成を2012年に行った。

現在、山口県へ第二次経営革新計画書を提出し承認を受け、各種助成金制度を活用し、製造設備の自動化改修を検討している。表1に2012年度と2013年度の生産実績および、多機能フィルター社が試算している2016年度までの生産目標を示す。表1の内、A+Bラインの実績および試算を取り上げている理由は、当該ラインが主力製品を製造する上で実質中心的な役割を果たすためである。2014年度以降の試算については、2012年度と2013年度の全体生産量の平均値に基づいた試算となり右上がり成長を目標としている。営業部門では、市場開拓などで成長要素は確保できる見通しであるが、目標達成には製造部門における設備自動化などによる生産性向上が必須である。

Table 1 Fiscal 2012 and fiscal 2013 production results and fiscal 2016 production target

Fiscal	Total production average [m ² /month]	When the entire peak [m ² /month]	A+B line average [m ² /month]	When A+B peak [m ² /month]
	×10 ⁴	×10 ⁴	×10 ⁴	×10 ⁴
2012	8.0378	11.8	3.2263	5.2
2013	10.2964	15.3	3.6364	5.8
2014	12.5	18.5	4.4	7
2015	14.9	22	5.3	8.2
2016	17.15	25.7	6.06	9.6

図5に実際の工場レイアウト図および、本研究で可視化検討の対象とするBライン製造における部品の移動について示す。図5より、本研究の対象であるBラインから事務所までの距離は約30~35mであることが分かる。

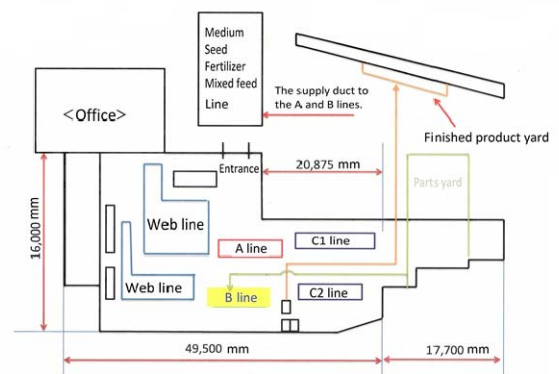


Fig.5 Factory layout diagram and Flow of B line parts Manufacturing

多機能フィルター社が保有する現行の生産ラインは主に、「ウェブライン」「A・Bライン」「Cライン」の3つに分類される。工場では創業から20年を経て、多くの種類の多機能フィルター製品が製造されるようになった。現行製品は27種類に及び主に代表製品を製造するのは「A+Bライン」である。特に、製造ラインの生産中心を担っているのは「Bライン」である。

表2に多機能フィルター代表製品の生産現状を示す。ここで、実質出荷量となるロット規模をL、ライン稼働量となる生産規模をPとおくと、45R-20を除いてL<Pとなっており、本来得られるはずの生産量に対して出荷量が少ない。また、稼働日数L/Pを求めると45R-20を除き1以下という結果から時間ロスが生じている。つまり、生産に対して出荷に至らない問題が現

行のBライン上に点在していると推測される。そこで、次項ではBラインの製造工程における問題点について述べる。

2.3 製造工程における問題点

図6に製品を構成する各部品および製品完成に至るまでのBラインの詳細な作業工程について示す。

主力製品を生産する現行Bラインで著しい時間ロスが生じている原因は、製造工程における手作業工程が多いことに由来する。具体的な課題は次の項目が挙げられる。

- 1) 基布の取換時間が大である。
- 2) 種子フィーダーにおける種子変更時の清掃時間が大である。
- 3) 培地フィーダーにおける培地供給能力が不足している。

- 4) ウェブおよびネットの取換時間が大である。
- 5) ニードルパンチ、ミシンのメンテ時間が大である。
- 6) 蛇行発生に対する修正人手が要る。
- 7) ラインスピードが9[m/min]と低速である。
- 8) 切断作業が手動である。

これらの課題を踏まえ、具体的にBラインのストップ時間（改善前）として算出した結果を図7に示す。

図7より、1日の稼働時間6.5時間で発生する時間ロス合計は273分である。また、製品切断までによる時間ロスは57.9[%]を占めており、大きな時間ロス要素である。今回、この切断プロセスにおける「見える化」を行うことにする。

Table 2 Production status of MF filter representative product

Product format (Price:[yen/m ²])	Order [item]	Order production volume [m ² /year]	Lots scale : L [m ² /item]		Production scale : P [m ² /day]	Number of operating days L/P [item/day]
		×10 ⁴	×10 ³		×10 ³	
SP-45 (384)	205	21.5	1.02	<	1.4	0.73
45R-0 (640)	265	29.9	1.13	<	2	0.57
45R-5 (1057)	114	13.1	1.15	<	1.4	0.82
45R-20 (1768)	17	1.57	0.92	>	0.5	1.84

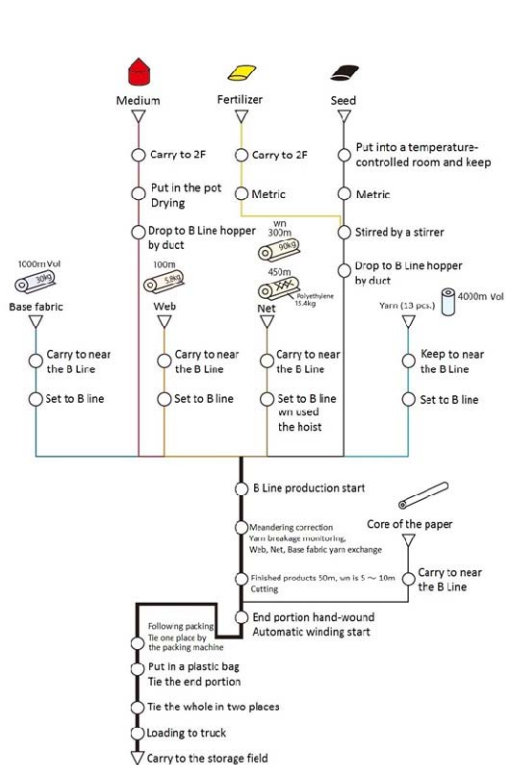


Fig.6 Working process of the B line

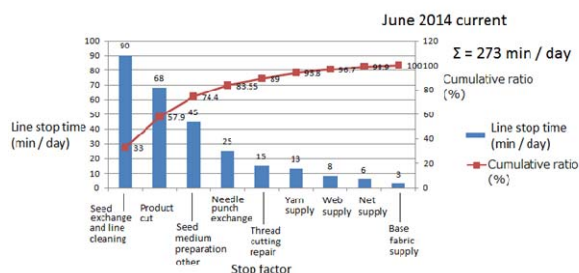


Fig.7 B Line stop time (before improvement)

2.4 可視化実験の対象項目

前項で述べた課題に対する生産性向上の基本は、次の2項である。

- 1) 無駄時間をカットして稼働率を向上させる。
- 2) 一定時間内で、量および質を高める自動化を行う。

これらの問題を解決する有効策として、工業分野を始めとする製造現場では自動化と稼働ロスの可視化および組織間での業務管理の共有が注目されている。

従来の生産監視システムでは作業分析に対して大幅な時間ロスおよび作業改善に対する把握困難という問題が生じていた。これに対する新方式として、昨今、注目されているのが作業の「見える化」である。すな

わち、製造ラインで生じる時間ロス要素を常時監視し、可視化を行い現場間で共有することによって、製造工程における問題を早期に把握出来る。又、この方式によって、生産性向上のみならず品質安定効果も期待できる。

この可視化方式を行う上で求められているのが、製造ラインの自動監視システムと通信ネットワーク設計である。大手企業では既に実際に製造ラインを可視化して監視通報するシステムが複数ある⁶⁾。しかし、現段階の可視化システムは第3章でも述べるが、開発や導入に際し、高コストの設備投資がある欠点がある。

そこで、現行の生産ラインの生産効率の向上に向けての問題を、低コストで「視覚化し、分析できるか」を検討することにした。

図8に、新設Bライン導入後に生じると予測されるBラインのストップ時間(改善後)を示す。図7と比較すると、1日の稼働時間6.5時間で発生する時間ロス合計は169.2分に短縮されている。図8に示される切断自動化によって切断時間の時間ロスは、ほぼ影響しない結果になる。本事例の改善案では切断時間による時間ロス改善が最も大きい効果として期待される。そこで、本研究の可視化実験対象として、この現行Bラインストップの主要因「切断作業」に着目し、現状の「見える化」実現に向けた検討を、比較的 low コストで済む特定小電力無線通信マイコンモジュール(LSIシステム技術)を用いて、校内で通信実験を行うことで「低コストでの可視化ネットワーク構築」に向けた有効性を示す。

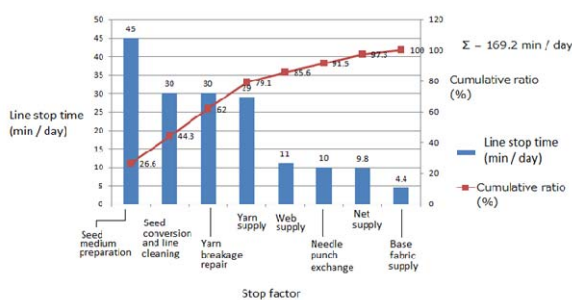


Fig.8 B Line stop time (after improvement)

3. 校内での通信実験

本章では、製造現場における可視化ソリューションの現状とその課題、前章までに述べた生産現場に対して低コストでの現状の可視化実現を検討する目的で、比較的 low コストで済む特定小電力無線通信マイコンモ

ジュール (LSI システム技術) を用いて、校内を巡回移動して行った通信実験や通信性能について述べる。

3. 1 製造現場の可視化ソリューションの普及

わが国の製造現場では、利益確保に向けた生産性向上、勤労時間の短縮、品質向上など重要な経営課題が未だ多く山積している。それらに伴い、製造現場では改善策として設備投資による製造ラインの自動化は大手企業を始め、中小企業でも導入する事例が増加しており、今後も製造現場の設備自動化需要は拡大すると推測される。

この現状に対して経済産業省 (METI) では、2014年1月20日に産業競争力強化法の制定に伴い、「生産性向上設備促進税制」を新設し、生産性を特に向上させると認められた設備投資について、即時償却又は最大5%の税額控除が適用できる。今までに無かった対象範囲も対象となるなど、設備投資をした時に受けられる優遇税制をさらに手厚くさせている。一方、設備の自動化に伴い更なる生産性向上の有効策として期待されるのが「製造現場可視化ソリューション」である。この取り組みは、各生産系のシステムのデータをリアルタイムで処理・分析して可視化するものである。これにより「不良品発生条件の特定」「不具合発生から問題解決に至るまでの時間短縮」などが可能になり、わが国の製造業にとって最もコストのかかる勤労時間の短縮にも繋がる。

この可視化に対する課題は前章までの多機能フィルター社の製造ラインの場合と同様に、設備管理、品質管理、工程管理、生産管理など、多様な生産系システムに生産データが分散している。その結果、各システムから効率的にデータを収集することも、それらを分析して生産状況を把握することも困難となる。多くの製造業において「現状のデータを有効活用できていない」という状況が発生している。未だに多くの手間をかけて「Microsoft® Excel®」によるデータ集計・分析している企業も多い。製造現場可視化ソリューションは、これらの課題に対して各生産系システムに分散したデータを一元的に集約し、それを分析できる環境を構築するものである。適用範囲を生産システムに絞り込めば安価に導入でき、利用範囲を絞り込むことで製造現場でも容易に活用が可能になるとして、製造業における導入事例も多くなりつつある。

現状の可視化ソリューションにおける課題点を見出すため、市場で既に製品として定着している「生産管理システム」において、納期、数量、工数を計画・管理する活動を効率化させる。また、生産量の安定化や管

理コスト削減の実現を目的とした可視化システムもある。このシステム分野における製品については2015年1月現在、ITトレンド内に31件ほど報告されている。表3にITトレンド内で行われた資料請求回数に基づき順位づけされた上位10位の既製品である各生産管理システムの対応機能、顧客対象となる従業員規模と売上規模および、各製品の参考価格を示す。

表3において、対応機能欄における付与記号の意味合いは次のとおりである。

- A：製造全般 (Manufacturing General)
- B：組立・加工 (Assembly and processing)
- C：プロセス製造 (Process manufacturing)
- D：生産計画 (Production planning)
- E：需要予測 (Demand forecast)
- F：資材管理 (Materials management)

表3より、既に多様な企業がこの「生産管理システム」開発に参入している事が分かる。製品ごとに、限定的に対応機能を特化させた物や顧客対象の従業員規模、売上規模に設定を設けるなどの特徴がみられる。

一方で、製品の参考価格はいずれも90万円以上と高額である。また、調査の結果、2015年1月現在にITトレンド内に登録されている31件の生産管理システム製品の内、最安価格の製品でも20万円、前後掛かるといふことも分かった。この事から、製造業全体で生産性向上に向けた取り組みが加速する中で、多額の設備投資が困難な中小企業にとっては生産性向上の有効策である生産管理システムの導入に未だ容易に踏み切れない課題が伺える。

Table 3 Production management system document request ranking ⁽⁷⁾

No.	System name (Production Co., Ltd.)	Corresponding function						Customer target		Provide form	Referenced price [yen]
		A	B	C	D	E	F	employee scale [people]	sales scale [yen]		
1	DS-mart ERP (Densan-System)	○	○	○	○	○	○	10~1000	All	Packaged software	5,000,000
2	WorkGear series (Morix)	○	○	○	○	×	○	10~100	All	Packaged software	2,500,000
3	TPICS-X (Tpics- Laboratories)	○	○	○	○	○	○	All	All	On-premise / Packaged	900,000~5,000,000
4	eProduce LT (Hitachi Info Engineering)	×	×	×	×	×	×	All	10 ⁸ ~10 ¹⁰	On-premise / Packaged	3,000,000~
5	Factory-ONE (NEC)	○	○	○	○	×	○	All	10 ⁸ ~5×10 ¹⁰	On-premise / Packaged	3,600,000~
6	FutureStage (Hitachi Systems)	○	○	×	○	×	○	10~500	10 ⁹ ~5×10 ¹⁰	On-premise / Cloud / Packaged	20,000,000
7	EXPLANNER/J (NEC)	○	○	○	○	×	○	All	5×10 ⁹ ~5×10 ¹¹	On-premise / Cloud / Packaged	3,500,000
8	rBOM GP (Daiko Denshi)	○	○	×	×	×	○	10~	~5×10 ⁹	Packaged software	2,500,000~
9	Fu-jin SMILE BS (Otsuka-Shokai)	○	○	○	○	○	○	10~500	All	Packaged software	5,945,000~
10	OBIC (Obic)	○	○	○	○	×	○	100~	5×10 ⁹ ~	On-premise / Cloud / ASP	8,000,000~

3. 2 特小無線技術による可視化ソリューション

前項で述べた可視化ソリューション分野における製品が高額である現状を踏まえ、本研究では可視化実験のモジュールとして近年、比較的安価で提供され始めている LSI 技術を基礎とした「特定小電力無線通信マイコン」に注目した。LSI (Large Scale Integration : 大規模集積回路) は、半導体のチップ上に多数のトランジスタおよびダイオード等の素子を 1000 個~10 万个程度に集積したものであり、回路集約により特定の複雑な機能を果たすことが出来る電子部品である。可視化実験対象として実際に用いるモジュールとして、通信周波数が 920MHz 帯域である無線通信に特化したマイコンモジュールおよび、それに準拠する 900MHz 卓上アンテナを選択した。920MHz 帯域に特化したモジュール選定した理由として、わが国では 2012 年 7 月に 920MHz 帯域での通信事業が一般向けに解放されたことにより、920MHz 帯域での無線通信ソリューションによるアプリケーション開発および実証実験が本格化した。生産管理システムへの注目が高まる中、センサーネットワーク分野では以前から無線通信を活用した可視化ソリューションの模索・検証が進められてきた。920MHz 帯域による通信の利点は、従来の Zigbee / BT などの 2.4GHz 帯製品での通信で課題となっていた電波干渉や減衰、それに伴う距離不足の解決策として有効であるという点である。また、920MHz 帯の特長である回り込み特性、水中・外温などの影響が低い点から、適用分野は FA 分野のみならず介護分野や見守りシステム、農業・漁業の第一次産業、コインパーキングやゲームセンターに至るまで検討範囲は多種多様に及んでいる。920MHz 帯域での特定小電力無線通信による可視化ソリューションに期待が高まっている事なども踏まえ、今回の選定理由として取り上げる。

3. 3 CRESSON-MD920 について

本実験で用いる 920MHz 帯域に特化した特定小電力無線通信マイコンモジュールとして⁽⁸⁾,

CRESSON-MD920 RF モジュール (CME 社製) の概要とブロック図と外形寸法図、および CRESSON-MD920 開発ボード (CME 製) の概要とブロック図および外観図について、それぞれ述べる。

CRESSON-MD920 RF モジュールは、短距離無線通信システムを構築する事を目的とした 920MHz 帯ワイヤレスマイコンモジュールである。表 4 に CRESSON-MD920 RF モジュールの概要を示す。なお、CRESSON-MD920 開発ボードの概要については、表 4 における無線部とマイコン部の項目と同様 (但し、I/F は GPIO/ADC のみ) である。

Table 4 Overview of CRESSON-MD920 RF module

Item	Introduction	Remarks	
Radio unit	Wireless standard	ARIB STD-T108 Ver1.0	Technology fit certification
	Frequency band	922.4MHz~928.0MHz	
	Number of Channels	Maximum: 29 channels	200KHz channel width
	Transmission power	-20~+13dBm	0.01mW~20mW
	Minimum receiver sensitivity	-99dBm	100kbps, PER=1%, Packet Length=20byte
	Modulation scheme	2-GFSK	BT=0.5
	Transfer rate	50kbps/100kbps	
Microcomputer unit	MPU	32bit PIC microcomputer	Usage rate: 70~75%
	Flash ROM	128+3kB	3kB is used to boot
	Data RAM	32kB	
	Operating frequency	20MHz	
	I/F	UART/GPIO/ADC	
	Clock function	Yes	Use the 32kHz crystal
Use conditions	Operating ambient temperature	-20~+80°C	
	Power-supply voltage	2.3~3.6V	Standard: 3.0V
	External dimensions	20mm×35mm×7mm	
Power consumption	Send	43mA	Pout=10dBm, MPU=20MHz, Vcc=2.3V
	Reception	28mA	MPU=20MHz, Vcc=2.3V
	Standby	50μA	

本モジュールの特徴は、「小型サイズ (20mm×35mm)」, 「IEEE802.15.4g 規格に準拠したフレームフォーマットをサポート」, 「IEEE802.15.4 規格に定義される non-Beacon Enabled PAN 規格に準拠した通信制御プロトコルを採用」, 「通信プロトコルとアプリケーションを実装可能な 32bit マイコンを搭載」, 「バッテリー駆動の機器に最適な低電圧動作が可能」, 「スリープ動作を実行するのに必要な 32kHz 水晶を搭載」, 「最大 20mW の送信電力出力に対応可能」という点である。

図 10 に CRESSON-MD920 RF モジュールのブロック図を示す。無線部は RFIC (ADI 社 ADF7023-J 28pin-QFN パッケージ), 制御部は 32bit CPU (Microchip 社 PIC32MX150F128B 28pin-QFN パッケージ) を中心に各種クリスタルと外部接続用コネクタ, アンテナなどのインピーダンス整合回路などによって構成されている。また, 図 10 に CRESSON-MD920 RF モジュールの外形寸法図を示す。

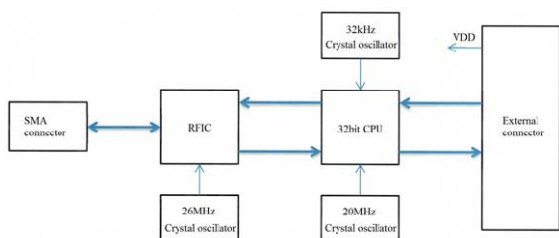


Fig.9 CRESSON-MD920 RF module block diagram

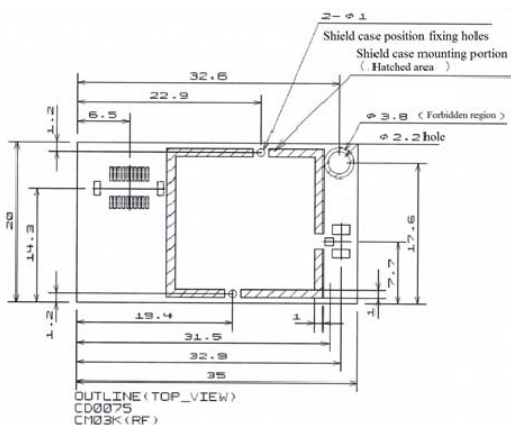


Fig.10 CRESSON-MD920 RF module Dimensions

CRESSON-MD920 開発ボードは, 前述の RF モジュールを搭載し, プログラミングやデバッグなどの実施やデモシステム構築を可能にするボードである。本ボードの特徴は「小型サイズ (40mm×60mm)」, 「技術適合証明取得済みの 920MHZ 帯無線モジュール (CRESSON-MD920) を搭載可能」 「3 種類の電源が

選択可能 (AC アダプタ, 電池 BOX 単 3×2, USB バスパワー)」, 「マイクロチップ社のマイコン開発環境が利用可能」, 「CRESSON-MD920 の 6 つの GPIO を汎用コネクタに接続した構成を採用し, センサ機器などの拡張が可能」という点である。図 11 に本開発ボードのブロック図を示し, 図 12 に前述の RF モジュール (赤色四角部) および本開発ボード (黄色四角部) の外観図を示す。後述する実験では, この CRESSON-MD920 の 2 式を用いて USB ケーブルおよびインターフェースを介し, 可視化を想定し複数のディスプレイ画面 (PC) と接続した状態で無線通信を行った。

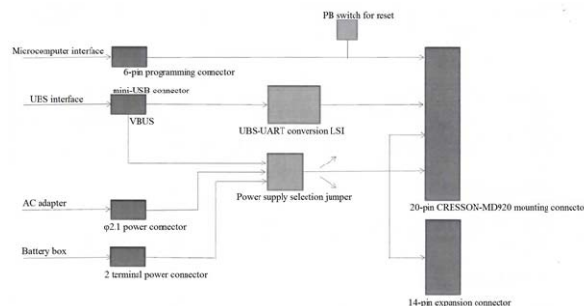


Fig.11 CRESSON-MD920 development board block diagram



Fig.12 CRESSON-MD920 (RF module and development board) external view

また, CRESSON-MD920 はアンテナ接続用コネクタとしてヒロセ製小型同軸コネクタ U.FL-R-SMT-1 (01) を搭載し, SMA コネクタへの変換ケーブルとして峰光電子製 U.FL-LP-066-SMA-BJ-95 を使用している。本実験では, この仕様条件に準拠する技術適合証明取得済アンテナとして単一型 900MHz 卓上アンテナ GAF-121XSAXX (Joymax Electronics 社製) を用いることにした。本アンテナにおける利得は 0dB となっている。

3. 4 実験条件

本実験では、USB インターフェース (CP210x USB2UART ドライバ) を介して PC と接続し、ターミナルソフト (TeraTerm) によるコンソール・コマンドを用いた 2 つの無線通信実験を校内にて行った。送信機側は固定位置とし、可視化を想定したディスプレイ画面として EPSON 製 PC Endeavor NY2000 (Microsoft 製 Windows®7 Home Premium 搭載) を用いた。通信測定を行う受信機側は移動可能とし、可視化を想定したディスプレイ画面として SONY 製 PC PCG-4V1N (Microsoft 製 Windows®7 Starter SNPC OA 搭載) を用いた。表 5 にターミナルソフト上のパラメータ設定を示す。

Table 5 Parameters on the terminal software

Item	Conditions
Baud rate	115200bps
Data	8-bit
Parity	None
Stop	1 bit
Flow control	None
During transmission line feed code	CR
Local echo	Yes

送信機側 (COM3) の self ID を 0245, 受信機側 (COM4) の self ID を 0243 とする。はじめに、1 回目の実験として SEND コマンドを使用して RSSI 測定実験を行った。この実験は CRESSON-MD920 無線通信の有効性およびディスプレイ表示による可視化を確認するためのテストも兼ねている。端末間の測定距離は 30cm で行った。

次に、RSSI 測定実験による通信の有効性を確認した後、2 回目の実験として MTEST コマンドを使用して PER 測定実験を行った。この測定は、標準で 128 バイト長のパケット (シリアル番号+疑似ランダム (PN9)) を 1000 パケット送受信するものである。この実験は連続的に送受信するため、良好な通信および通信エラーが発生した状態を常時ディスプレイ画面で監視表示する CRESSON-MD920 を用いた可視化システムの有用性を見出すことを目的とする。通信エラー表示は、本研究で検討対象としている多機能フィルター社 B ラインにおける「切断作業」がストップした状態であることを想定した。また、受信機側の端末を送信機側から遠くへ移動させていき、どれ程の範囲まで通信が可能であるかの検証を行い、実験結果から通信特性を見出す。目標とする多機能フィルター社の工場が保有する B ラインから事務所までの距離 (約 30~35m) が満たせるかの検証を行った。PER 測定実験における端末間

の測定距離は 30cm, 1m 以上とした。尚, 30cm 条件は研究室での測定で, 1m 以上については研究室から離れて校内を巡回し, 通信障害が発生する原因と思われる窓, 1 カーブ, 2 カーブ, 壁などの条件を視野に入れながら測定を行った。

3. 5 実験結果とその検討

測定距離 30cm における RSSI 測定実験について、図 13 に送信機側 (COM3) の画面に表示された結果、図 14 に受信機側 (COM4) の画面に表示された結果を示す。図 13 では、MTEST コマンドで送受信試験の実施及び制御モード (パラメータ表示, Ack 返送有り) を設定し、SEND コマンドで指定文字列「Stop_B_Line!」を送信した後、送信が正常に終了 (ACK:00) した。同様に図 14 では、送信元 ID (0245) から受信が正常に終了 (00) し、指定文字列「Stop_B_Line!」が表示されていると共に、RSSI 値は-29[dBm]である。これらの事から、本実験装置による無線通信および可視化表示の有効性および、-30[dBm] (=0.001[mW]=1[μW]) 換算より比較的、低電力で通信が可能で、かつ省エネ性についても確認できた。

次に、測定距離 30cm における PER 測定実験について、図 15 に送信機側 (COM3) の画面に表示された結果、図 16 に受信機側 (COM4) の画面に表示された結果を示す。図 15 では、送信回数を 1000 [回]、パケット長を 20 とし、送信成功回数は 1000 [回]、ACK 受信失敗回数は 0、バックオフ失敗回数 (チャンネルビジー) は 0 という事が分かる。同様に図 16 では、全てのパケットを正常受信し、PER 値 (エラー数/パケット数) は 1×10^{-3} という結果が得られた。これらの事から、測定距離 30cm (固定) による無線通信では受信番号不一致 (パケット抜け) 現象は生じず、良好な通信が行われている事が確認できた。



Fig.13 The COM3 in RSSI measurement in 30cm



Fig.14 The COM4 in RSSI measurement in 30cm

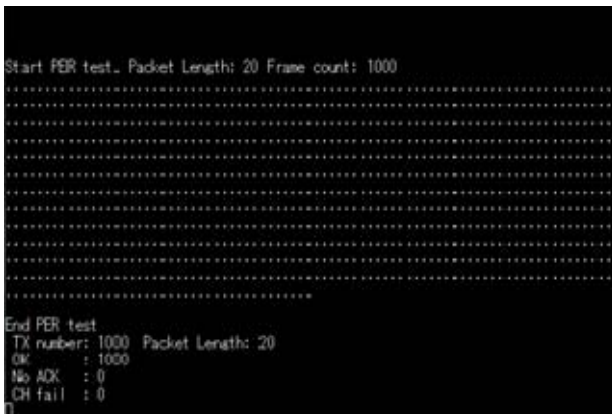


Fig.15 The COM3 in PER measurement in 30cm

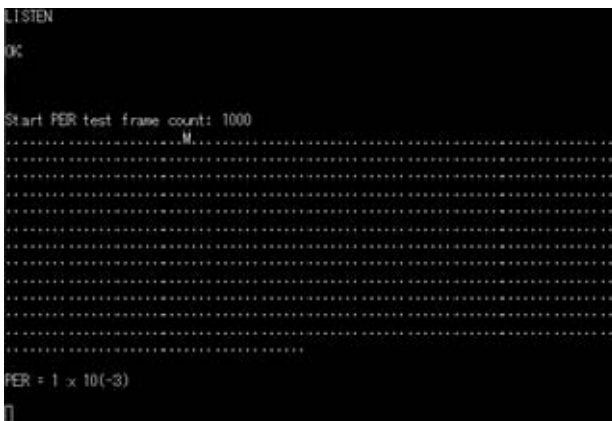


Fig.16 The COM4 in PER measurement in 30cm

次に、測定距離 1m 以上における PER 測定実験について、図 17 に送信機側 (COM3) の画面に表示された結果の一例、図 18 に受信機側 (COM4) の画面に表示された結果の一例を示す。図 17 では、MTEST コマンドで PER 測定モードに設定し、前述の図 15 と同様の送信結果が得られていることが分かる。一方、図 18 では 3 度の受信測定を行った内、1 回目は研究室付近で行ったのに対して、研究室から移動し遠距離で測定を行

った 2 回目と 3 回目については受信番号不一致 (パケット抜け) 現象が生じ通信障害が発生していることが分かる。この事から、通信障害が発生する原因と思われる窓、1 カーブ、2 カーブ、壁などの条件を視野に入れて更に、図 19 の様に受信機を移動させ校内を巡回しながら複数回の PER 測定実験を行い、通信感度特性について検証を行った。図 21 に校内の測定場所及び測定結果から得られた通信感度の特性を示す。図 21 のハッチング分けはパケット抜け頻度によるもので、ピッチが濃い順に通信不能、通信困難、通信可、通信良好 (ハッチング無) である。なお、校内の建造物 (距離と壁厚) に関する事前情報を取得しておかなければならないが、この事前情報は正確である必要はなく、ある程度の誤差を許容とする。図 21 から、5 つの場合における通信障害要素について考察する。

① 1 つの壁越しの場合：比較的良好と言える。

② カーブ越しの場合：1 カーブ越しになると通信感度は徐々に低くなり、2 カーブ越しでは通信不能を示した。

③ 対する建物間の場合：比較的良好。窓による障害は少なく、見通しの良さに起因していると思われる。

④ 建物の角付近の場合：あまり芳しくない。角特有の複数の壁に囲まれている事に起因していると思われる。

⑤ 見通し良好で遠距離、本例では図 20 の様に、送信機のある研究室から約 60m 離れた第 2 パソコン室にて、固定状態で測定すると比較的良好な結果が得られた。

この事から、階数が異なっても見通しよし条件では、比較的遠距離の通信でも中継機なしで行えることが分かり、目標とする約 35m 以上での通信有効性が検証できた。

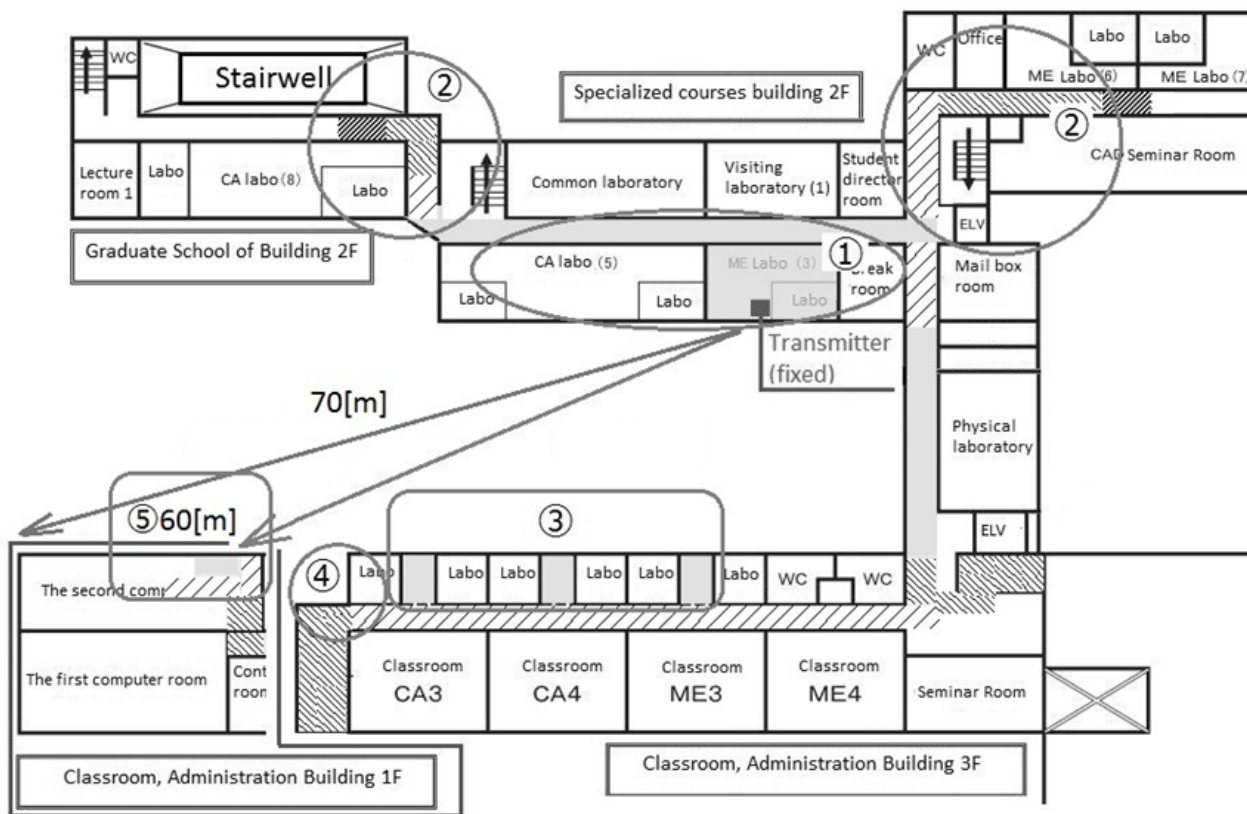


Fig.21 Communication sensitivity characteristic in the school PER measurement

4. 結言

現行のマット製造ラインのさらなる自動化に際し、生産性向上の課題を低コストで、かつ「視覚化し、分析できるシステム」を構築することを目的に、多機能フィルター(株)工場(現行Bライン製造工程が抱える)問題点を調査分析し、920Hz域の特定小電力無線通信モジュールCMEを用いた低コスト型「見える化システム」の可能性を調査した。その調査結果からCMEを用いたシステムを提案し、校内にて通信実験を行った。また、通信性能を評価して精度の高い通信性能を確認し、見通し内での通信距離60mを中継機なしで十分に満たせることを明らかにした。本システムは、約5万円で作成できる可視化システムであり、ディスプレイ画面に常時監視できる。今後、マット製造ライン現場に設置して通信システムの性能・信頼性を確認し、稼働率の見える化を検討していく所存である。

謝辞

本研究は、多機能フィルター株式会社およびCMエンジニアリング株式会社の研究助成の成果の一つです。研究助成に対し深く感謝の意を表します。

文献

- 1) 多機能フィルター株式会社, 創業20周年記念誌, pp.16-27 (2014)
- 2) 河野伸之, 共生微生物を用いた緑化技術に関する研究, 山口大学農学部博士論文, pp.2-9 (2000)
- 3) 河内義文, 多機能フィルターの防災機能について, 株式会社ケイズラブ, pp.3-9 (2014)
- 4) 丸本卓哉, 多機能フィルターとの20年の歩みと将来展望, 山口大学退官記念誌, pp.8-28 (2014)
- 5) 日刊工業新聞, 三菱電機「黒板, 工場へ提案 - 組立工程, 指示を効率化」 9/4(2014).
- 6) 日本電気株式会社, “生産状況の見える化を低コストで実現 -製造業を強くするBIソリューションとは-” http://jpn.nec.com/manufacture/machinery/bi_solution/index.html, No.2/3, (2015)
- 7) CMエンジニアリング株式会社, 920MHz帯域の無線通信ソリューションの概要・市場動向9/26号(2014)
- 8) CMエンジニアリング株式会社, CRESSON-MD920セミナー資料, No.9 (2014)

(2015.9.10 受理)