

平成24年度戦略的基盤技術高度化支援事業

高密度配線組立の低コスト化器材・装置類の開発

研究開発成果等報告書概要版

平成25年 3月

委託者 中部経済産業局

委託先 公益財団法人科学技術交流財団

目 次

第1章	研究開発の概要	3
1-1	研究開発の背景・研究目的及び目標（実施計画の細目）	4
1-1	当初の目的 及び 目標に対しての実施結果	5
1-2	研究体制（研究組織・管理体制・研究者氏名）	6
1-3	成果概要	9
1-4	当該研究開発の連絡窓口	11
第2章	本論(実施内容)	11
2-1	電線番号の読取・加工品質の自動記録部	12
2-1	MW(ムーンウォーカー)の開発	12
2-2	CMW(コンパクト ムーンウォーカー)の開発	12
2-3	LM(ルナモジュール)の開発	13
2-2	電線加工の自動文字認識・画像処理アルゴリズムの開発	14
2-1	取組内容と結果（達成度）	14
2-2	電線被覆剥ぎ画像の良否判定の高精度化での開発・製作したものの成果	16
2-3	電線加工の装置の部分モデル、試行モデルの動作検証	16
2-1	取組内容と結果（達成度）	16
2-4	コネクタ組立のピン挿入指示・記録部の開発	17
2-1	各種画像取得カメラ部の開発	17
2-2	画像の信号処理部の開発	18
2-3	各種データの送受信部の開発	18
2-4	操作/表示パネル部の開発取組内容と結果（達成度）	18
2-5	コネクタ組立でのピン配列文字の認識、該当ピン位置への光ビーム案内に関するアルゴリズムの開発	20
2-1	取組内容と結果（達成度）	20
2-6	コネクタ組立での装置の部分モデル、試作モデルの動作検証	23
2-7	MW、LM、MSの作業現場での使用と改善・改良点の洗い出し	23
第3章	開発最終年度の（平成24年度）の総括	24
3-1	平成22年度～24年度の研究開発成果	24
3-2	研究開発後の課題・事業化展開	24

第一章 研究開発の概要

高密度配線組立の現状は、工程全体の約80%が人手と目視に頼る作業となっている。一方、川下企業からは世界競争の観点等から、製作コスト半減化の要請があり、これに応じるためには、工程内の種々の問題・課題に対する解決器材が必須であり、これらを研究開発により、推進していくものである。

従来の方は、高密度配線組立の製作工程中の電線番号を読み取る行為（下図②、下図④）、電線端末へのピンの圧着（かしめ）行為の検査（下図③）、コネクタへ電線を挿入する時に該当する電線を探す行為（下図④）、挿入行為の検査（下図④）等を、全て人手による目視で行っている。



本開発は、精密・高速での画像撮影と高速処理により、電線番号の読み取りと加工の検査を行う「**小型高精度デジタルカメラによる自動認識と判別化**」（下図機能1）の機構部、ピンをコネクタに挿入時の該当位置の指示と挿入検査を行う「**小型高精度デジタルカメラによる自動精密検査と記録化**」（下図機能2）の機構部に、二分される。

以上の高密度配線組立の製造において、各工程での作業品質、特に組立後には見えなくなり、且つクリチカル度が高い、以下の(1)～(3)に示す状態、

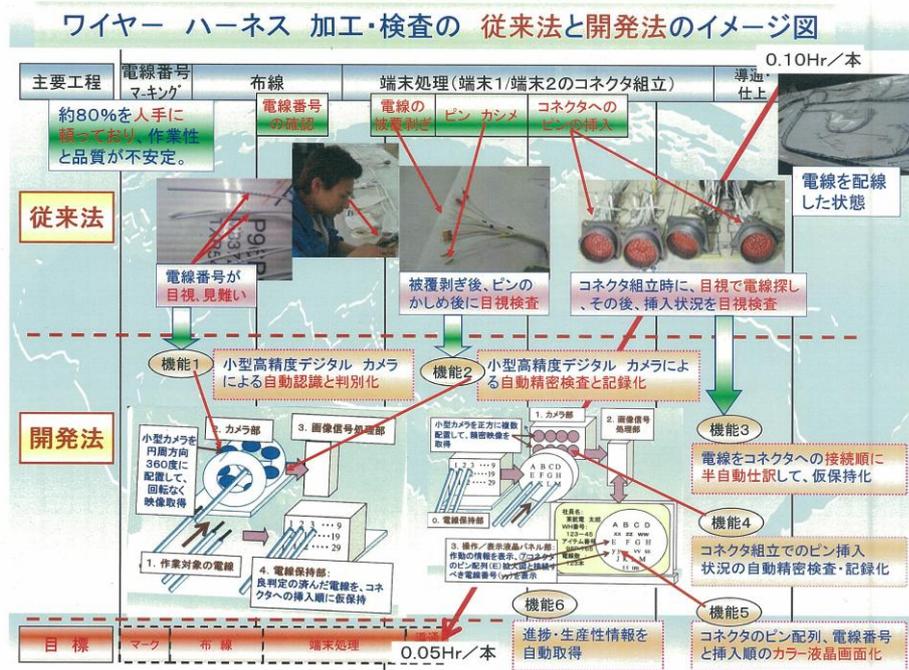
- (1) 各電線の被覆剥き状態
- (2) コネクタへの接続前に行うピンと電線のカシメ状況
- (3) コネクタにピン接続時のピン位置及び形状等

について、工程内で簡単に100%検査/実像記録が可能、更に工程中に散在する電線番号を確認して仕訳ける行為、コネクタのピンへの挿入するための電線探しを軽減でき

るシステムを開発するものである。

研究開発品の全体構成は、以下のⅠ～Ⅳに示すものであり、初年度の平成22年度は主としてⅠとⅢの付随する項目を研究開発した。2年度目の平成23年度は、主としてⅠの細部継続とⅢの付随する項目、そしてⅡの基礎について、研究開発を実施してきた。尚、3年度目は主としてⅠからⅢの改良、及び動作検証を行うものである。

- Ⅰ 電線番号の読み取り、被覆剥ぎ及びピン圧着の検査部(ハードウェア)
- Ⅱ コネクタ組立での挿入先の案内、挿入状況の検査部(ハードウェア)
- Ⅲ 上記Ⅰ、Ⅱで取得した画像の良否判定、実像記録データ、そして、挿入先の案内のデータを、既存サーバー等へ送受信するソフトウェア



1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標 (実施計画の細目)

本研究開発は、特定ものづくり基盤技術高度化指針のうち、組込みソフトウェアに係る技術に関する事項である。

1) 研究の目的

高密度配線組立の製作において、人手による電線を探すまた、接続先を見出す作業の効率化を極限まで進める必要がある。また、工程インラインでの電線加工後の品質及びコネクタ結線時の検査を自動で行い、且つ実像記録がトレーサビリティ データとして自動記録できる必要がある。

3) 研究の目標

(1) 研究開発の高度化目標

ア. 生産性の向上

現在、新型民間機においては機体価格が同等以下ということから、その構成部品の一部であるワイヤー ハーネスに対しても、従来経験の半値以下の低コ

スト化が求められている。

これを為すには、その製作工程においても、人手による電線を探す行為、結線先を見出す行為の極限まで軽減し、コストの半減化につながる器材の高度化が高まっており、精密画像判別・処理の技術を開発により、生産性の向上を実現することが目標である。

ウ. 検証・品質保証体系の構築

ワイヤーハーネスの製造工程において、電線接続に係る不適合、及び将来に不適合へ発展する恐れのあるポテンシャルを、万一でも内在させないように、工程インラインでの電線加工後の品質及びコネクタ結線時の検査が自動、そして、その実像記録がトレーサビリティデータとして自動記録できるような装置での体系であることも、目標である。

イ. ソフトウェア技術による省エネルギー・省資源化

量的に全自動化できない高密度ワイヤーハーネス製作工程においては、人手による電線を探す行為、結線先を見出す行為、作業後検査の自動化による省労力等を、ソフトウェア技術を活用した精密判別・表示と位置指示処理により、実現対応していくことも目標である。

(2) 技術的な目標値

今回の装置は、従来では目視にて行っていた電線番号の読み取り、電線素線の被覆剥ぎ状況の検査、電線に「かしめ」られるピンの状況検査、コネクタ上で挿入すべき位置の指示であり、全てカメラ撮影後の画像処理に関連することであり、技術的な目標は高精度化と高速処理化という側面となる。

ア. 高精度化

画像判別の対象が、①最も細くて約1mm径の電線表面に印字された電線番号の英数字、②同電線の素線上の傷、③同素線がピンへ挿入される時の素線位置、④ピンがかしめられた後の変形状況であり、ミニマム数ミクロンという細かさで、画像内容を判別できることが必要である。

イ. 高速処理化

作業者が工程内で使用する装置であるので、①電線番号を読み取らせる行為と判別、②電線被覆剥ぎ後の素線傷有無の確認、③ピンのかしめ前の検査、④かしめ後の検査共に、インラインでの作業であるので、作業者に待ちを発生させないように、画像信号の処理サイクルは数百マイクロ秒の中で終了することが必要である。

1-1-1 当初の目的 及び 目標に対しての実施結果

(1) 目的に対して

高密度配線組立の製作における効率化が必要、及び品質保証における工程インラインでの電線加工後の品質及びコネクタ結線時の検査を自動で行い、且つ実像記録がトレーサビリティデータとして自動記録できる必要があることを、目的区分として取り上げた。その細分した目的項目は、具体的な開発として【電線番号の読取・加工品質の自動記録部】及び【コネクタ組立のピン挿入指示・記録部】の二つに区分して推進し、以下に記述する器材・装置類の各種試作品を実現した。

ア. 電線番号の読取・加工品質の自動記録部として、多機能型器材(ムーンウォーカー: LM)、

単機能型器材(コンパクト ムーンウォーカー：CLM)、そして携帯型器材(ルナモジュール)を試作し、その中に各目的項目を実現した。

イ. コネクタ組立のピン挿入指示・記録部として、実験室レベルであったが、器材(ムーンストライカー：MS)を試作し、その中に前述①から⑦の各目的項目を実現した。

(2) 目標に対して

目標区分は、生産性の向上、検証・品質保証体系の構築、ソフトウェア技術による省エネルギー・省資源化、情報システムとの連携をサポートする技術の構築に区分して設定しており、これらに対する実施結果は、以下の通りである。

ア. 生産性の向上

今回の精密画像判別・処理の技術を応用した研究開発により、電線番号の自動認識、電線へのコネクタピンかしめ状態の自動検査判別、電線被覆剥ぎ後の素線の傷の自動検査判別を実現出来た。これにより、高密度配線の組立作業での電線を探す行為、結線先を見出す行為を、大幅に軽減出来て、コストの半減化につながっていく可能性が高まった。

イ. 検証・品質保証体系の構築

上述のように、今回の開発において、電線加工後の品質及びコネクタ結線時の検査が画像取得と自動判定のソフトウェアが確立出来たので、その実像記録と判定結果をトレーサビリティデータとして自動記録できる体系が整理・検討できた。

ウ. ソフトウェア技術による省エネルギー・省資源化

今回のソフトウェア技術を活用した精密判別・表示と位置指示処理の開発により、量的に全自動化できない高密度配線組立製作における人手による電線を探す行為、結線先を見出す行為、作業後検査の自動化による省労力(エネルギー、資源節約)を実現出来る見通しが得られた。

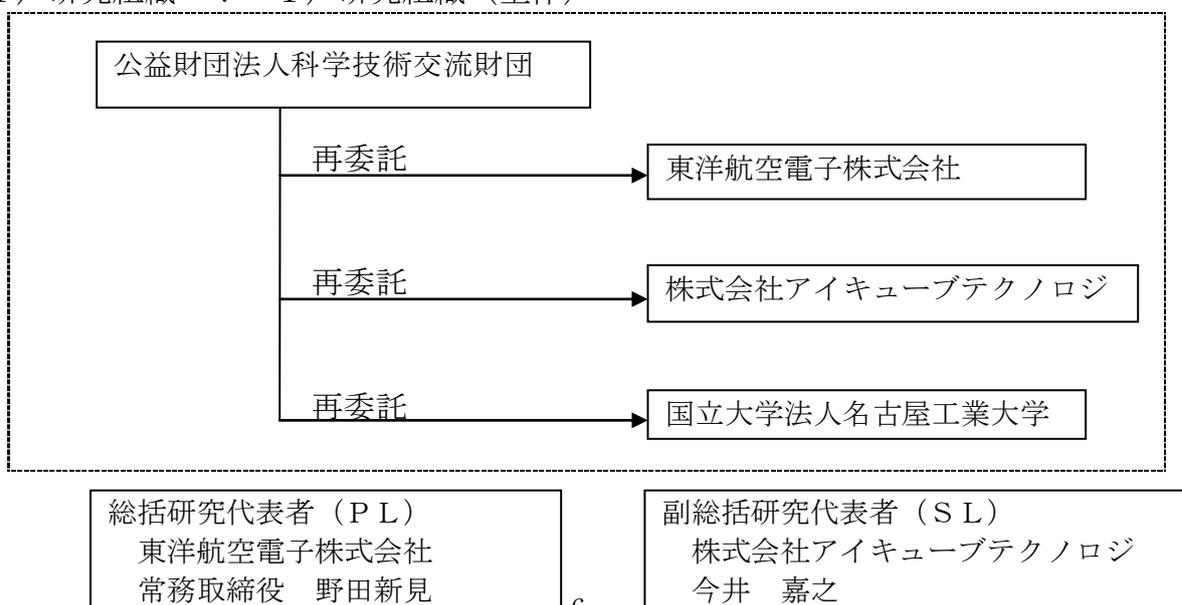
(3) 技術的な目標値に対して

高精度化については、画像判別を数ミクロン、数ピクセルという細かさで、画像内容を判別できるソフトウェアを開発出来た。

高速処理化については、開発器材内に高速作動するFPGAを採用し、細部設計したことにより、各操作・仕様が作業者に待ちを発生させない範囲の1秒以内で終わる目処を付けることが出来た。

1-2 研究体制

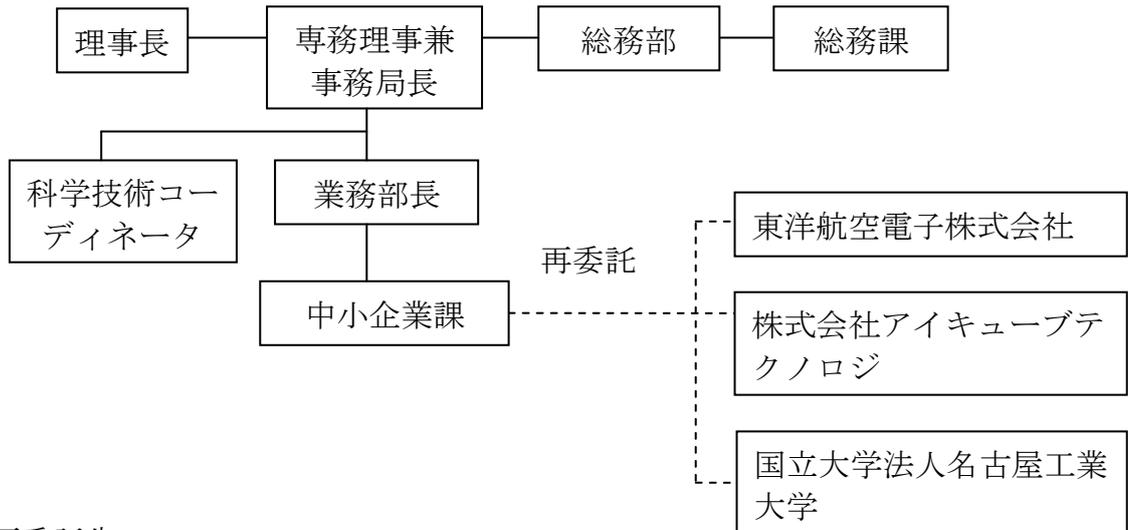
(1) 研究組織 : 1) 研究組織 (全体)



2) 管理体制

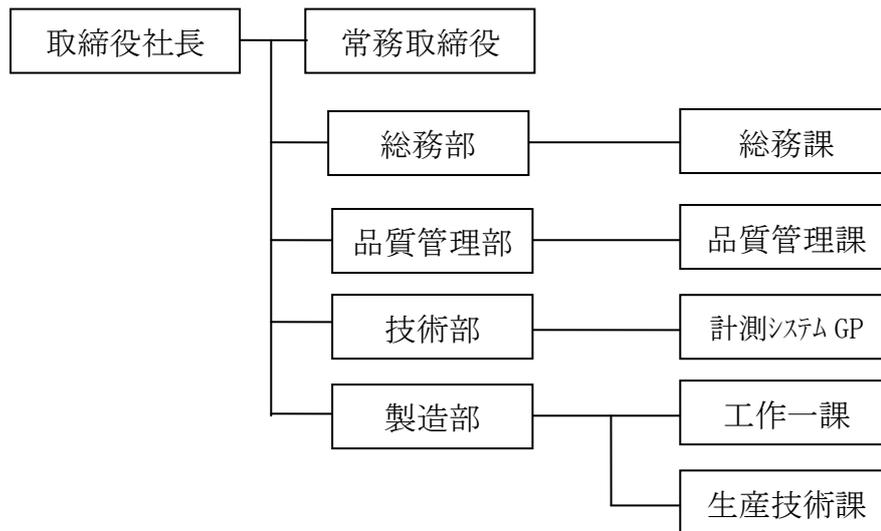
①事業管理者

公益財団法人科学技術交流財団

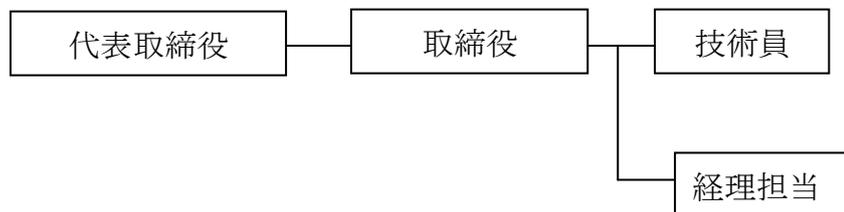


②再委託先

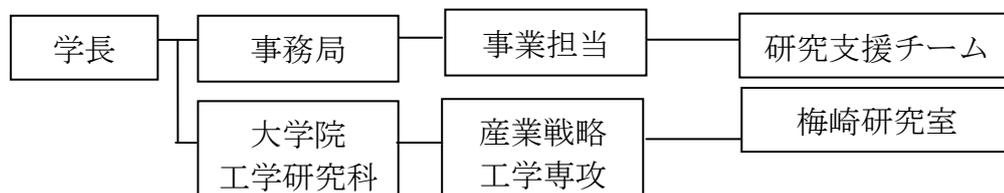
東洋航空電子株式会社



株式会社アイキューブテクノロジー



国立大学法人名古屋工業大学



(2) 管理員及び研究員

【事業管理者】 公益財団法人科学技術交流財団
管理員

氏名	所属・役職	備考
岩田 勇二 出口 和光 朝比奈 正 松本 茂 高橋 亜希子	専務理事兼事務局長 業務部長 科学技術コーディネータ 業務部中小企業課・課長 業務部中小企業課	

【再委託先】： 研究員

東洋航空電子株式会社

氏名	所属・役職	備考
野田 新見 倉知 進一 小川 文隆 平林 利康 西川 健次	常務取締役 製造部工作一課課長 技術部計測システムGP係長 製造部生産技術課係長 品質管理部品質管理係係長	

株式会社アイキューブテクノロジー

氏名	所属・役職	備考
今井 嘉之 成田 英智 雑賀 良和 長崎 孝行 上原 智 林下 守	代表取締役社長 取締役マネージャ（経理担当兼務） 技術員（設計開発チーフ） 技術員（設計開発チーフ） マネージャ 技術員	

国立大学法人名古屋工業大学

氏名	所属・役職	備考
梅崎 太造 田口 亮	産業戦略工学専攻・教授 産業戦略工学専攻・助教	

(3) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

(事業管理者)

公益財団法人科学技術交流財団

(経理担当者) 総務部総務課係長 大川 修平
(業務管理者) 業務部中小企業課長 松本 茂

(再委託先)

株式会社アイキューブテクノロジー

(経理担当者) 経理担当取締役 成田 英智
(業務管理者) 代表取締役社長 今井 嘉之

東洋航空電子株式会社

(経理担当者) 総務部総務課長 木村 和史

国立大学法人名古屋工業大学

(経理担当者)

研究支援チーム

マネージャー

山口 裕史

(業務管理者)

産業戦略工学専攻

教授

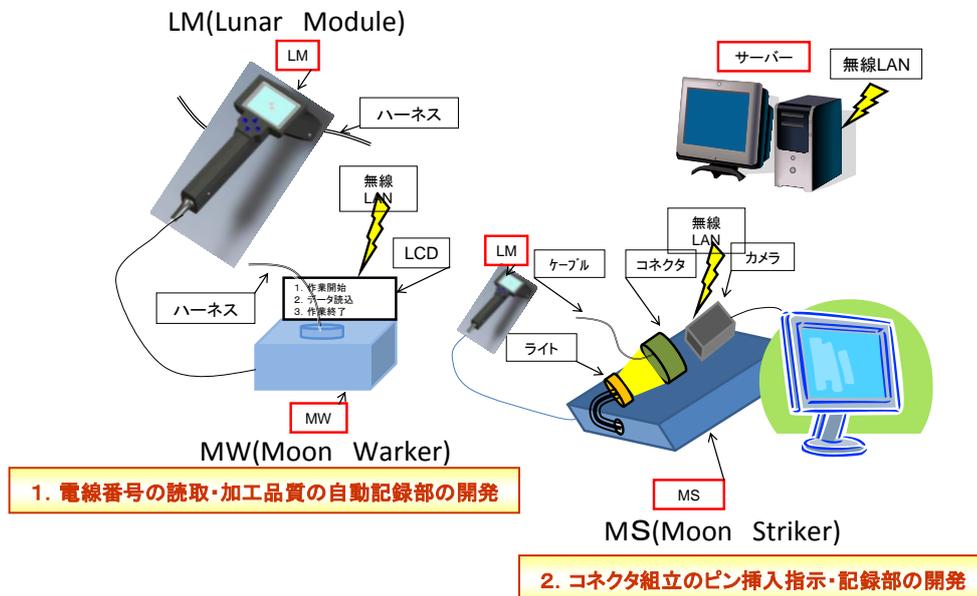
梅崎 太造

1-3 成果概要

本研究開発は、平成22年度の8月から本格的に開始し、平成24年度末の3月までの間、約3ケ年にわたり組込みソフトウェアに関する基礎実験・開発、試作器材の構想作り・設計・製作、そして動作検証等を実施してきた。開発の冒頭に、参画連携先と協議を行い、下図に示すように、開発器材の構成として「電線番号読取・加工品質の自動記録部」、「コネクタ組立のピン挿入指示・記録部」の二つ区分で進めること、及び、開発する器材の組込みソフトウェアの研究開発を推進した。

- ・多機能型(電線番号の読取、電線へのコネクタピンかしめ後の状況検査、及び電線被覆剥ぎ後の傷有無の検査が可能)のMW(ムーンウォーカー)
- ・単機能型(内蔵ソフトウェアの入れ替えにより、電線番号の読取、電線へのコネクタピンかしめ後の状況検査、又は電線被覆剥ぎ後の傷有無の検査、いずれかが可能)のCMW(コンパクト ムーンウォーカー)
- ・携帯型(電線番号の読取、バーコード類の読取)のLM(ルナモジュール)
- ・コネクタ組立時のピン挿入・確認を容易にするMS(ムーンストライカー)
- ・そして、これらの器材に内蔵させる文字認識、形状の良否判定、位置認識・指示を行うソフトウェア(アルゴリズム)

開発器材全体の構成

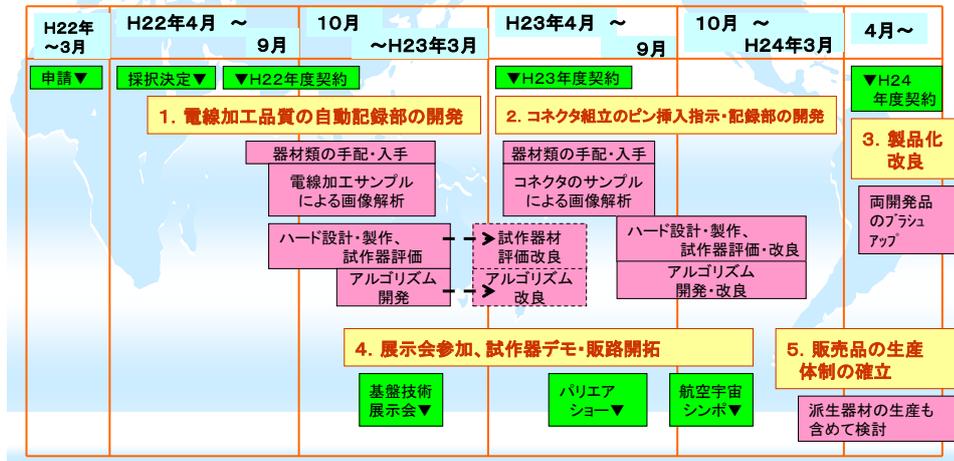


また、当初から3ケ年を想定しての研究開発全体日程も下図のように策定し、大筋では、各連携者の努力等により、この日程で進めることができた。

研究開発の大日程(平成22年度～平成24年度)

進め方 方針

- (1). 連携先が多いので課題・問題の横通しと協議、情報交換等を、定期的に行い、効率良く進める。
- (2). 相互に連絡手段として、メールを有効に使って協力し合い、推進した。



当初計画していた各項目に関する成果の概要は、次に記述する通りである。

【電線加工品質の自動記録部の開発】

- ① 電線加工の各種画像取得カメラ部の開発
- ② 電線加工にて取得した画像信号の良否判定／デジタル信号処理部の開発
- ③ 電線加工の良否判定した画像及び関連データのサーバーとの送受信部の開発
- ④ 電線加工の制御／操作／表示パネル部の開発

この①～④については、以下の開発した器材の中で具現化を行った。

ア：MW、イ：CMW、ウ：LM

- ⑤ 電線加工の自動文字認識・画像処理(傷等の判別)アルゴリズムの開発

約3ヶ年にわたり、多数の画像データを用いた実験を通して、認識・判定エラーの分析及びアルゴリズムの開発・改良を行い、文字認識精度と良否判定精度を実用に供するレベルまで向上を行った。

- ⑥ 電線加工の装置の部分モデル、試行モデルの動作検証

開発用の物品の仕様設定、手配、入手に予想以上に期間を要したので、の完成が各年度後半となり、初動的な動作確認及び研究室のパソコンレベルでの単機能毎の作動を確認できた。

【コネクタ組立の指示記録部の開発】

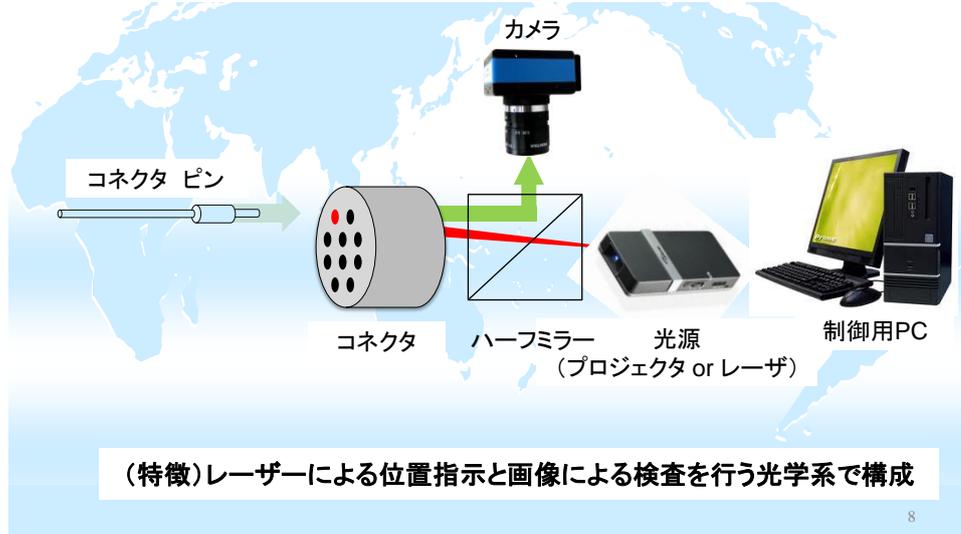
コネクタ組立の指示記録部の開発継続の概要は、以下の⑧から⑩であり、その研究開発段階での構成等を下図に示す。

- ⑦ コネクタ組立での各種画像取得カメラ部の開発
- ⑧ コネクタ組立画像の信号処理部の開発
- ⑨ コネクタ組立の各種データの送受信部の開発
- ⑩ コネクタ組立の操作／表示パネル部の開発

この⑧～⑩については、実験的研究の続きとして、バラック組立により上図のような「コネクタ組立のピン位置指示・記録器」を開発した。この中には、⑧のピンの挿入時に該当箇所を案内表示、挿入後の自動良否判断を行うので、必要となる画像を取得するカメラ機能、⑨の制御用パソコン活用での信号処理部のハードウェアの設計・製作と作動用のソフトウェアの作成、⑩の制御用パソコン活用での画像取得データの送受信接続、⑩の操作／表示のソフトウェアの開発、ピン位置表示。指示に、関する機能を盛り込み、開発した。

コネクタ組立のピン挿入指示・記録器の開発

- ・レーザービームにより、挿入すべきピン位置を明示、案内
- ・ハーフミラーにより、挿入後のピン位置の成否を照合・記録



⑪ コネクタ組立でのピン配列文字の認識、ピンストロークと曲がりの判別、該当ピン位置への光ビーム案内、に関するアルゴリズムの開発

コネクタのピン配列文字の認識ソフトウェア、及びコネクタへのピン挿入時のピン状況の良否判定(傷等を含む。)検査のソフトウェアに供するアルゴリズムの基本版を開発した。また、平成23年度に開発したピン位置指示用光学系の改良を行うと共に、当該位置へ自動的に光ビームを投光する制御ソフトウェアの開発を行った。

⑫ コネクタ組立での装置(MS)の部分モデル、試作モデルの動作検証

開発した実験レベルのバラック組立の「コネクタ組立のピン位置指示・記録器」において、開発段階での機能の擦り合わせ動作検証を行った。

⑬ MW、LM、MSのWH組立作業現場での使用と改善・改良点の洗い出し

これら器材について、代表事例的に使用し、また、使い方に関する検討を合せて、機能・性能の評価、改善・改良すべき点を洗い出した。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

公益財団法人 科学技術交流財団 担当者：松本

〒470-0356

愛知県豊田市八草町秋合1267番1

「知の拠点」あいち産業科学技術総合センター内

電話：0561-76-8326

FAX：0561-21-1651

第2章 本論(実施内容)

本研究開発に関する実施内容(本論)の詳細は、各年度の成果報告書に記述しているので、研究開発した「電線番号の読取・加工品質の自動記録部」に係る器材、「コネクタ組立のピン挿入指示・記録部」に係る器材、及び組込みソフトウェア(アルゴリズム)の視点で集約して記述するものである。

2-1 電線番号の読取・加工品質の自動記録部

2-1-1 MW(ムーンウォーカー)の開発

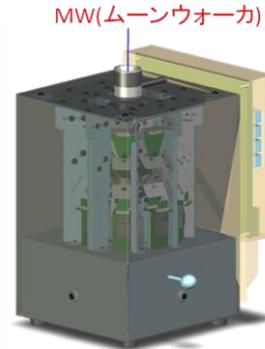
以下の要素を含んだMWの開発を行った。

- ① 電線加工の各種画像取得カメラ部の開発
- ② 電線加工にて取得した画像信号の良否判定/デジタル信号処理部の開発
- ③ 電線加工の良否判定した画像及び関連データのサーバーとの送受信部の開発
- ④ 電線加工の制御/操作/表示パネル部の開発

MWを構成する要素は、次のようである。

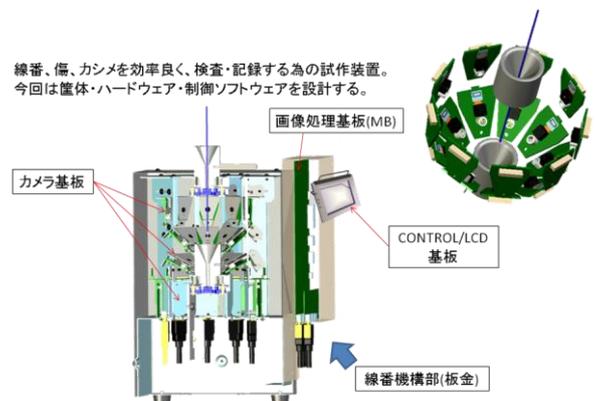
(1). MWの内部構成

MW(ムーンウォーカー)について
外観図は右図のようであり、
上方(青色線)が読み込み対象
となる電線である



(2). MWの内部構成

画像処理基板、カメラ基板、CONTROL/LCD
基板、線番機構部(板金)で構成されており、
これらを新規に設計開発した。
開発目標であった以下の構成及び確認機能が
一通り動作するように、内蔵ソフトウェア
(FPGAによる高速作動化含む)を開発した。
・18個のカメラ+18個の照明が1本の電線
を取り囲む構成
・電線番号の文字認識、電線被覆剥ぎ傷の
確認、コネクタピンのかしめ状態の確認



(3). MB(ムーンベース)の機能

MW(ムーンウォーカー)から受信した画像もしくは線番の情報を加工・整理し、DBサーバ
等と通信する。



2-1-2 CMW(コンパクト ムーンウォーカー)の開発

以下の要素を含んだCMWの開発を行った。

- ① 電線加工の各種画像取得カメラ部の開発
- ② 電線加工にて取得した画像信号の良否判定/デジタル信号処理部の開発
- ③ 電線加工の良否判定した画像及び関連データのサーバーとの送受信部の開発
- ④ 電線加工の制御/操作/表示パネル部の開発

初年度に試作したMWが、電線番号読み取り、ピンかしめ部の良否判定、電線素線被覆剥ぎの良否判定の多機能万能型であり、試作品が相対的に大きくなり、ワイヤーハーネス組立の実作業現場においては、使い難いということになったので、平成24年度に、多機能を単機能分散型・小型版化した試作品を開発した。

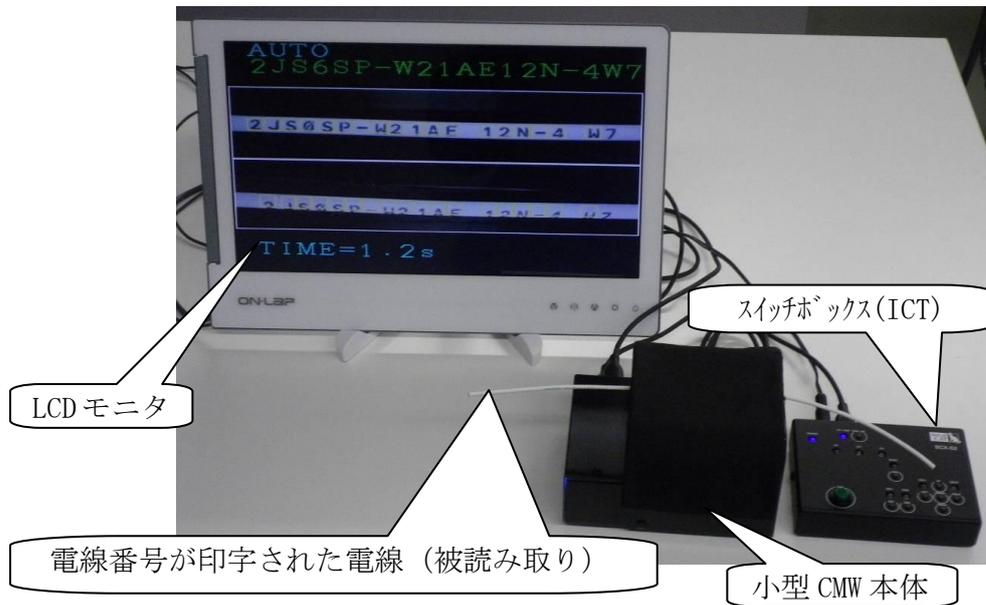
(1). CMWの機能

新規に筐体設計、基板設計、内蔵ソフトウェアを作成の上、開発・動作検証を行った。その主な構成、機能は次のようである。

- ・ MWの研究開発成果から、2個のカメラ+照明に集約することにより小型化を実現
- ・ 電線番号の文字認識、電線被覆剥ぎ傷の確認、コネクタピンかしめ状態の確認

(2). CMW(コンパクト ムーンウォーカー)と動作状況：

以下に電線番号の認識状況と認識に要した時間を表示している。

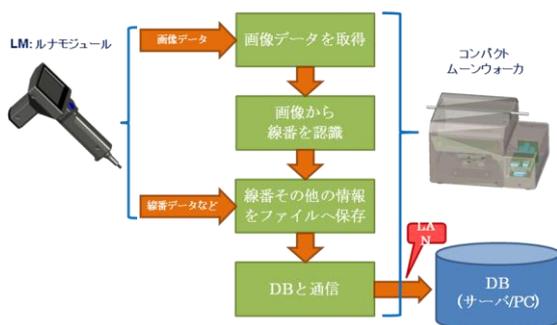


2-1-3 LM(ルナモジュール)の開発

①電線加工の各種画像取得カメラ部の開発、②画像信号の良否判定/デジタル信号処理部の開発、③画像及び関連データのサーバーとの送受信部の開発、④の操作/表示パネル部の開発を含む、手持ち携帯型のバーコード、数値等の万能読み取り器LM(ルナモジュール)の基板設計と内蔵ソフトウェアの開発・動作検証を行った。

(1). 基板設計と内蔵ソフトウェアを開発したLM(ルナモジュール)、及びLM及びCMWとデータサーバーとの接続フロー

全体接続構想図



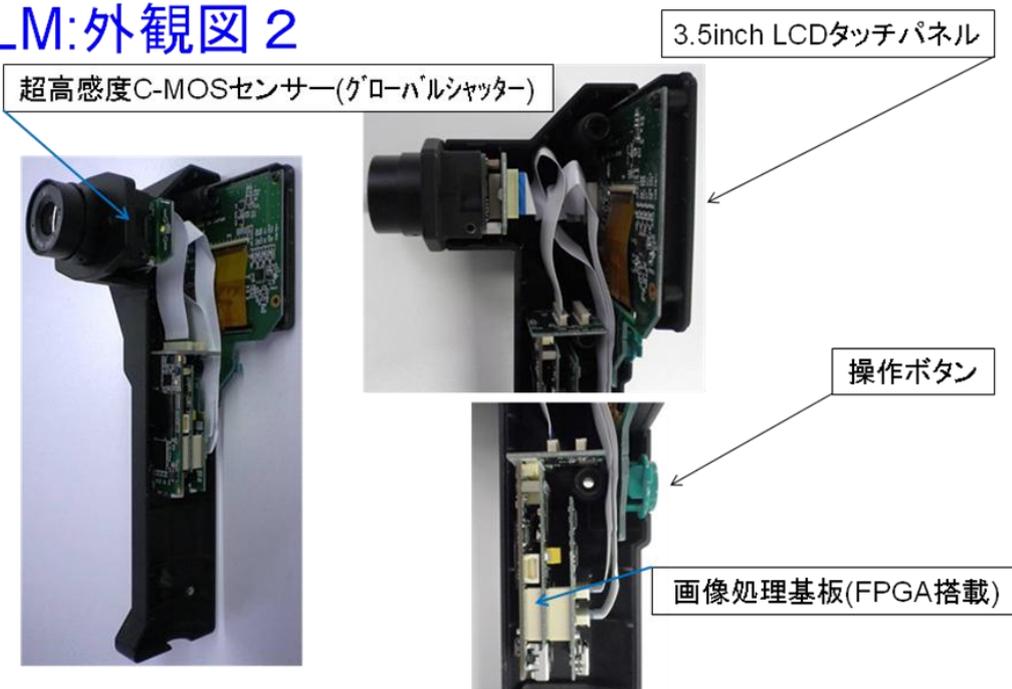
LMの役割

1. 作業コード入力
2. 線番認識
3. QRコードの読み込み



(2). LMの内部と外観写真

LM:外観図 2



(3). LM(ルナ モジュール)の動作は、リアルタイムでQRコード認識させた場合、QRコードの認識処理時間は、約30msと高速である。

2-2 電線加工の自動文字認識・画像処理(傷等の判別)アルゴリズムの開発

2-2-1 取組内容と結果(達成度)

(1). 取り組み内容の概要

平成24年度までに、実験を通して認識・判定エラーの分析およびアルゴリズムの改良を行い文字認識精度と良否判定の向上を図り、「電線番号認識の高精度化」と「電線被覆剥ぎ画像の良否判定の高精度化」を実現出来た。

「電線番号認識の高精度化」に関しては、認識アルゴリズムの作成・見直し・改良を行い、12番線では100.0[%]、22番線では99.6[%]、2芯線では97.5[%]、3芯線では98.6[%]の認識率が得られた。

「電線被覆剥ぎ画像の良否判定の高精度化」に関しては、傷検出アルゴリズムの作成・見直し・改良を行い、三種類の太さの異なる導線を用いて撮影された計180[枚]のサンプルにおいて素線傷の検出精度は100 [%]を達成した。

尚、ルナモジュールにより撮影された画像を対象とした文字認識については未達であり、今後のフォローアップ研究の課題となる。

(2). 電線番号認識の高精度化

(2-1) 認識アルゴリズムの概要

本研究で使用する撮影装置内部イメージ及び電線画像例を図2-2-1に示す。撮影装置は、外乱光を遮断するカバーの内部にカメラ及びLED照明が電線の周囲40[deg]おきに9台設置されており、複数視点から電線の撮影が可能となる。

提案手法では、このうち文字が多く写る隣り合う2台のカメラにより撮影された2視点の電線画像を基に文字の認識を行うものである。

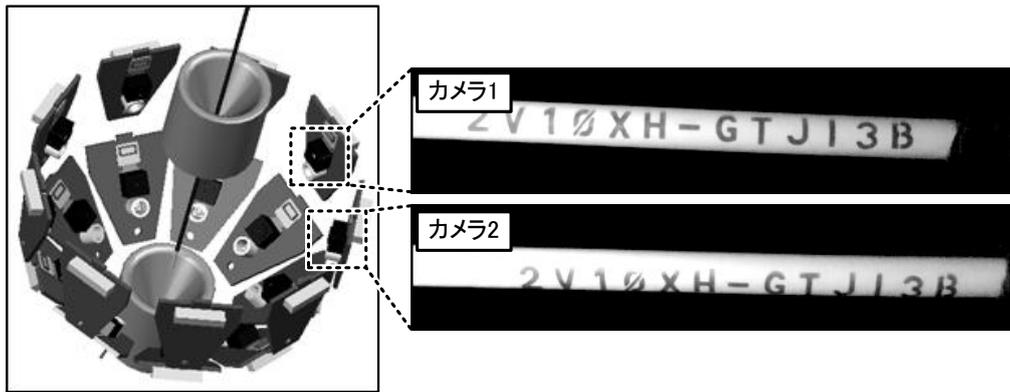


図 2-2-1：撮影装置及び撮影画像

図 2-2-2 に処理の流れを示す。まず、撮影した画像から電線輪郭を用いて歪みを補正して電線領域の切出しを行う。次に投影ヒストグラムを用いた文字領域の検出・切出しを行う。さらに、2 視点間における文字領域のマッチング及び統合を行い、最後にマッチングした文字領域を基にニューラルネットワークを用いて文字の認識を行うものである。

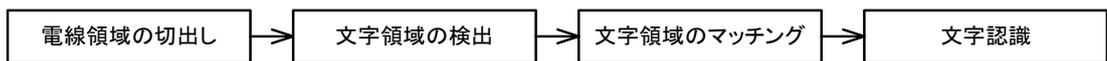


図 2-2-2：文字認識フローチャート

(2-2) 文字認識

検出及びマッチングされた文字領域を切出してニューラルネットワークを用いた文字認識を行う。本研究で対象とする文字は 0~9 の数字 10 種, A~Z の英字 26 種, 記号 2 種の計 38 文字である。ニューラルネットワークには入力層 $w \times h$ ユニット, 中間層 128 ユニット, 出力層 38 ユニットの 3 層型を使用する。尚, w 及び h は学習画像の幅, 高さを表す(12 番線の場合 20×40)。学習の際には, 電線画像から文字領域を切出し, 拡大縮小, 平行移動, 回転, ガンマ変換, 局所領域の濃度変換のランダム化を行う。その後 $w \times h$ に圧縮して入力層に入力する。教師データは正解文字に対応するユニットには 1 を, それ以外のユニットには 0 を与え学習した。ニューラルネットワークの構成及び入力・教師データを図 2-2-3 に示す。文字認識を行う際は, 検出及びマッチングされた文字領域を切出して学習済みのニューラルネットワークに入力し出力値が最大となるユニットに対応する文字を出力する。

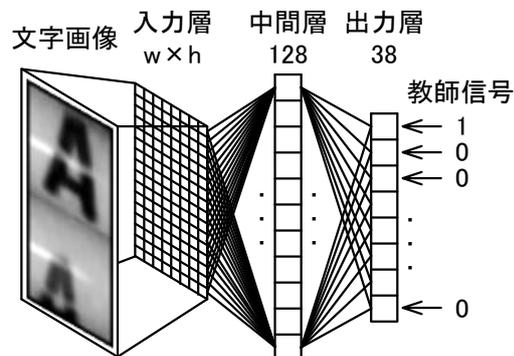


図 2-2-3：ニューラルネットワークの構成

2-2-2 電線被覆剥ぎ画像の良否判定の高精度化での開発・製作したものの成果

(1) 電線番号認識用のデモアプリケーション (PC用)

電線撮影から文字認識にかかる処理を一貫して行うデモアプリケーションを作成し、認識所要時間の計測実験を実施した。10本の12番線に対する計測の結果、1本平均45.1[ms]で認識が可能であり、線番確認作業の60倍以上の高速化が期待できる。



図 2-2-：電線番号認識デモアプリケーション

(2) 電線被覆剥ぎ画像の良否判定のデモアプリケーション (PC用)

素線の被覆剥ぎ状態を検査するデモアプリケーションを開発した。本システムはWindows上で動作し、電線領域の検出から傷の検出までを自動的に一貫して行うことができる。



図 2-2-：電線被覆剥ぎ画像の良否判定デモアプリケーション

2-3 電線加工の装置の部分モデル、試行モデルの動作検証

2-3-1 取組み内容と結果 (達成度)

平成24年度には、単機能型のCMW(コンパクト ムーンウォーカー)を開発出来たが、初度版として、電線番号の読み取りの単機能の特化したものであり、他の電線

被覆剥ぎ検査機能、ピンかしめ後検査機能については、アリゴリズム移植と動作検証を、今後のフォローアップ研究につないでいく。

2-4 コネクタ組立のピン挿入指示・記録部の開発

以下の要素を含んだMS(ムーン ストライカー)の実験室モデル試作品の開発を行った。

- ①各種画像取得カメラ部の開発
- ②画像の信号処理部の開発
- ③送受信部の開発
- ④操作/表示パネル部の開発

2-4-1 各種画像取得カメラ部の開発への取組内容と結果(達成度)

(1)本品の開発は、名古屋工業大学での実験室レベルでの開発研究から取り組み、のような成果が得られた。尚、本実験室レベルから発展した試作品化・実用品化いて、今後のフォローアップ研究の課題である。

ピン挿入位置、ストローク長さ、直線性の判定を画像処理により実現するために必要な画像の解像度や照明条件等を明らかにするため、FA用カメラを用いた試作機を、研究を進めながら1号機から3号機までの3種類作成し、画像処理に適した撮影条件を検討した。作成した試作機の外観と撮影したコネクタの画像例は2-4-3に示す。尚、コネクタ裏面(ピン挿入側)の画像取得も検討したが、コネクタ組立中には導線や作業者の手がコネクタ裏面を覆い、カメラでの撮影が困難であるため、コネクタ表面の画像のみからピン挿入位置の判定を実施することとした。

しかし、ストローク長さおよび曲がり画像のみから判定するのは困難であることがわかった。ストローク長さおよび曲がりの判定にはピンを3次元的に捉える必要があり、そのための撮影系の検討は、フォローアップ研究の課題の一つである。

・試作2号機：リング照明とローアングル照明を切り替えて使用



図 2.4.1 : 試作 2 号機の外観

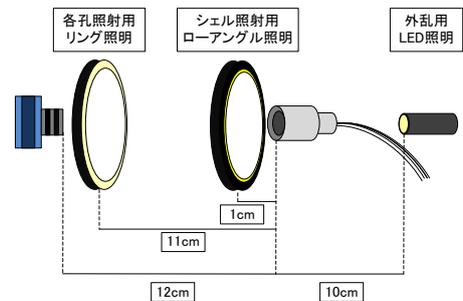


図 2.4.2 : 試作 2 号機の配置図



図 2.4.3 : 試作 2 号機の撮影画像例 (リング照明)

2-4-2 画像の信号処理部の開発への取組内容と結果（達成度）

本開発においても、名古屋工業大学での実験室レベルでの開発研究から取り組み、以下のような成果が得られた。尚、本実験室レベルから発展した試作品化・実用品化について、今後のフォローアップ研究の課題である。

今回、コネクタ画像を処理するための画像処理ソフトウェアは、Windows PC用のソフトウェアとして開発した。

- ・ - 1 : 各種コネクタの表裏両面の実物画像から、「ピン番号配列のデジタルデータを取得」については計画時にはコネクタの嵌合面に印刷してある文字を認識し、ピン配列を認識することを考えていたが、ピン配列はコネクタの向き（回転角度）と嵌合面の中心位置がわかれば設計データから一意に求まる。そこで、文字認識を行うのではなく、コネクタの回転角度と嵌合面の中心位置検出することで、各コネクタ画像からピン配列を認識する画像処理ソフトウェアを開発した。
- ・ - 2 : 取得したピンの位置画像から、「配列上の良否判定」については、上記1で認識したピン配列を元に、ピン挿入孔の部分の平均輝度値を求め、ピン挿入の有無を判定する。そして、ピン挿入位置が仕様通りであるか否かを逐次判定する画像処理ソフトウェアを開発した。
- ・ - 3 : 取得したピン挿入のストローク長さ画像から、「挿入量の良否判定、- 4 : 取得したピンの形状画像から、「曲がり有無の良否判定」に関しては画像処理アルゴリズムの検討を行ったが、2-4項目の装置で撮影した画像からでは挿入量及び曲がりを判定することはできなかった。この両判定についてはフォローアップ研究の課題として取り上げていく。

2-4-3 各種データの送受信部の開発への取組内容と結果（達成度）

本開発についても、名古屋工業大学での実験室レベルでの開発研究から取り組み、以下のような成果が得られた。尚、本実験室レベルから発展した試作品化・実用品化について、今後のフォローアップ研究の課題である。

今回開発した画像処理ソフトウェアは、単一のクライアントPC上で動作するアプリケーションソフトウェアであり、サーバアプリケーションの開発および、サーバ・クライアント間通信の開発には至らなかった。しかし、画像処理アルゴリズムがほぼ完成したことにより、サーバからクライアントに渡さなければならない情報（コネクタ種類およびピン挿入孔の位置座標）が明らかとなった。

サーバアプリケーションにはMY SQL等の一般的なデータベースサーバを使用出来るため、製品化の際にここが障害になることはないと考えられる。

また、研究開発段階では、単一のクライアントPC上で動作する画像処理ソフトウェアを開発し、評価実験を実施し、画像処理のためにサーバからクライアントに渡すべき情報が明らかとなった。

2-4-4 操作／表示パネル部の開発取組内容と結果（達成度）

本開発についても、名古屋工業大学での実験室レベルでの開発研究から取り組み、以下のような成果が得られた。尚、本実験室レベルから発展した試作品化・実用品化について、今後のフォローアップ研究の課題である。

- ・ - 1 : 「ピン挿入位置の配列上の判定結果を、作業員へ音声通知とコネクタ相似図上に表示」を実現するソフトウェアインターフェースを開発した。
- ・ - 2 : 「ピン位置指示装置を開発し、コネクタ裏面の該当ピン挿入位置へ光ビームで表示」を実現するため、ホログラムと自動移動ステージを用いたピン位置

指示機構を開発した。両インターフェースの詳細は、後述説明する。

- ・ - 3 : 一方で、電線番号の認識部や電線番号を管理するサーバアプリケーションとの統合には至っていないため、「コネクタ相似図画面へのピン配列と対応する電線番号を、重畳表示」は実現していない。
- ・ - 4 : 「ピン挿入のストローク長さ判定結果を、作業者へ音声と表示で通知」
- ・ - 5 : 「ピン挿入の曲がり有無判定結果を、作業者へ音声と表示で通知」も両判定が不可能であったため、未達である。但し、これらのインターフェースを実現するための技術的課題はなく、容易に実現可能であるため、製品化の際に障害になることはなく、今後のフォローアップ研究の中で取り上げていく。

(1) ピン挿入位置の配列上の判定結果の表示

ピン挿入位置判定プログラムのインターフェースを図 2.4.4 に示す。図中の左上の画像が検査対象の画像であり、右下の画像が判定結果である。判定結果画像の青丸が挿入、緑丸が未挿入を表しており、正しく判別している。



図 2.4.4 : ピン挿入位置判定プログラムのインターフェース

(2) ピン挿入位置へ光ビームで表示

ホログラムによるピン位置指示装置（設備名称「ピン位置指示の光学実験用装置」）の外観を図 2.4.5 に、ホログラムシートの制御機構を図 2.4.6 に、ピン位置指示の様子を図 2.4.7 に示す。電線をコネクタに挿入する際に、正しい挿入孔へ光ビームで案内表示するものである。開発したシステムは、ホログラムシートにより光ビームの屈折させることで、任意の挿入孔に光ビームを照射することが可能である。

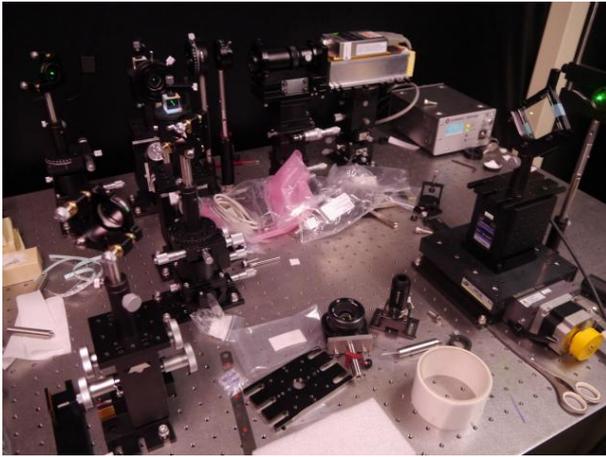


図 2.4.5 : ピン位置指示の光学実験用装置の外観

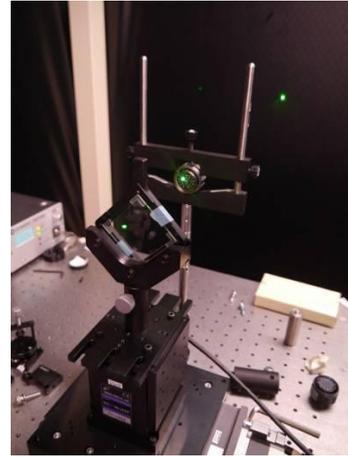
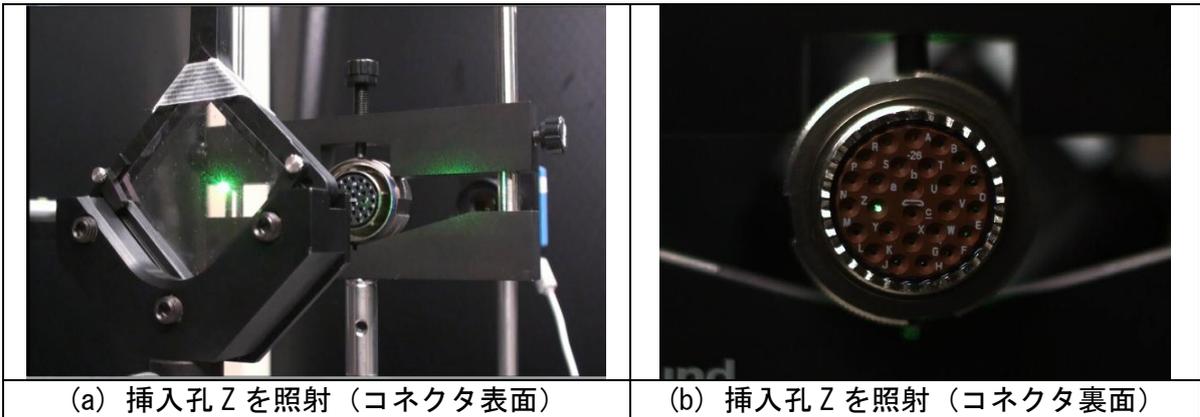


図 2.4.6 : ホロシート制御機構



(a) 挿入孔 Z を照射 (コネクタ表面)

(b) 挿入孔 Z を照射 (コネクタ裏面)

図 2.4. : ピン位置指示の様子

2-5 コネクタ組立でのピン配列文字の認識、ピンストロークと曲がりの判別、 該当ピン位置への光ビーム案内、に関するアルゴリズムの開発

2-5-1 取組内容と結果 (達成度)

(1) コネクタ表面及び裏面でのピン配列文字と位置の基準認識

計画時にはコネクタの嵌合面に印刷してある文字を認識し、ピン配列を認識することを考えていたが、ピン配列はコネクタの向き (回転角度) と嵌合面の中心位置がわかれば設計データから一意に求まる。そこで、文字認識を行うのではなく、コネクタの回転角度と嵌合面の中心位置検出することで、各コネクタ画像からピン配列を認識する画像処理アルゴリズムを開発した。

画像処理のフローを図 2.5.1 に示す。以下、フローに沿って処理を説明する。

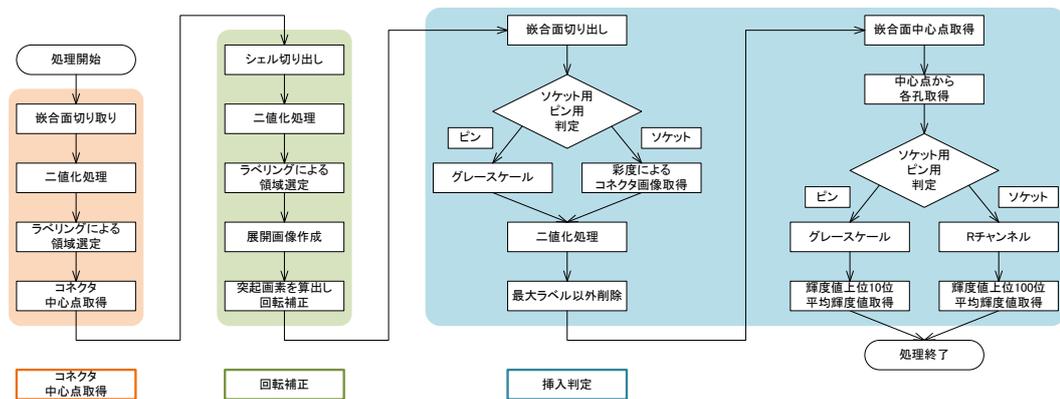


図 2.5.1 : 画像処理のフロー

(2) コネクタ表面でのピン挿入位置の配列上の良否判定

リング照明画像回転補正実行後の嵌合面のみを使用し、ピンが挿入されているかの判定処理を実行した。そのためにはまず、コネクタに存在する孔が何番の穴で、位置として画像中の具体的な座標を取得しなければならない。

嵌合面の中心点、半径を取得し、各孔の位置を推定するという手法を用いた。まず、嵌合面の外形を取得する。ソケット用、ピン用のコネクタにおいて、嵌合面の色が大きく異なる。そのため、ソケット用、ピン用に処理をそれぞれ変更する方法も考えられる。ソケット用では、グレースケール処理、二値化を行い、嵌合面の外形を取得することは容易であるが、ピン用で大きな障害となるのが壁面の反射である。ピン用コネクタの壁面反射の問題に対して、RGB 値の彩度・明度を計算する。ピン用コネクタに対して、彩度が一定以上の部分を取得し、さらに二値化処理を行うことで、外形を取得した。二値化のしきい値は嵌合面の領域が画像中に 50%含まれていることから、黒画素の割合が 50%となる位置を閾値として動的に取得した。

次に、先の手法と同様にラベリング処理により一定領域以下のものを削除する。得られた嵌合面の外形における 3 点をランダムで取得し、中心点を計算する。これを 50 回繰り返す、計算した 50 個の中心点の平均を嵌合面の中心点として取得する。

中心座標・半径が取得できたので、各孔の位置を導出した。撮影するときの誤差により、絶対座標では困難であると考えられるので、座標を相対的に計算した(図 2.5.2)。相対的に座標を計算することで、撮影時の誤差に起因する画像の拡大縮小に対応できる。取得した各孔の位置を図 2.5.3 に示す。

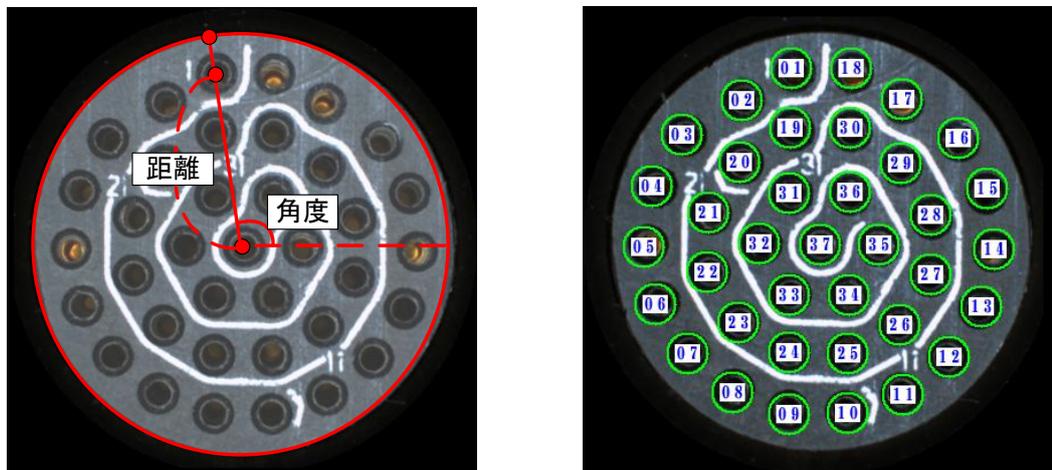


図 2.5.2 : ソケット各孔の位置座標算出



図 2.5.3 : ピン各孔取得

最後に、各孔の挿入判定を行う。各孔の座標を取得できているので、半径 10 [pixel] の円形で 314 [pixel] の輝度値を取得し(図 2.5.4)、ソケット用では R チャンネル、ピン用では、グレースケールを実行した。

得られた各孔における輝度値を取得し、ソケット用では上位 100 位の輝度値における平均値、ピン用では上位 10 位の輝度値における平均値が閾値以上ならば、挿入済み、未満ならば未挿入とした(図 2.5.5, 図 2.5.6)。

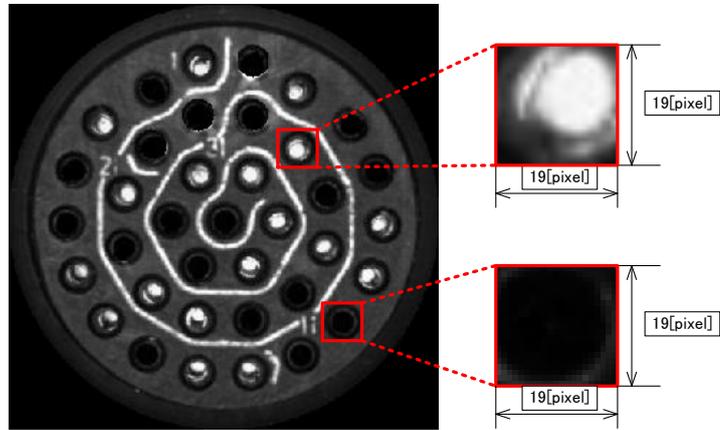
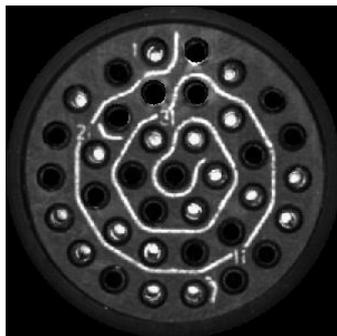
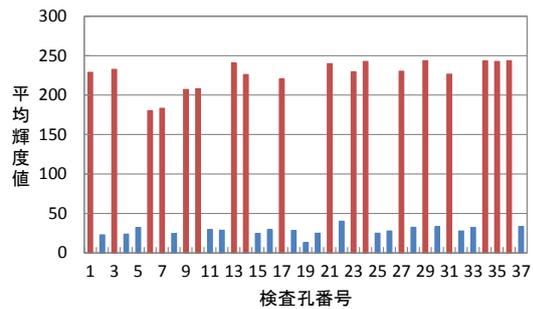


図 2.5.4 : 半径 10[pixel]の輝度値

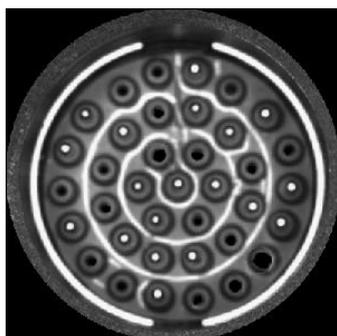


(a) Rチャンネル画像

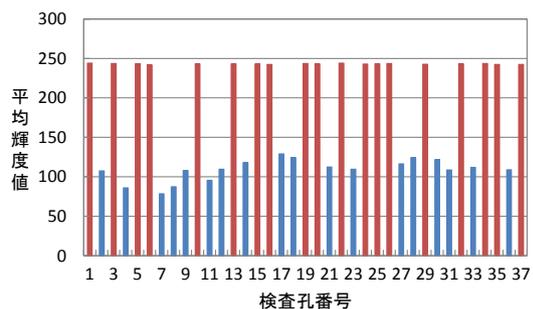


(b) 各孔における上位 10 位平均輝度値

図 2.5.5 : ソケット用コネクタの場合



(a) グレースケール画像



(b) 各孔における上位 100 位平均輝度値

図 2.5.6 : ピン用コネクタの場合

評価方法としては、しきい値を変動させて平均誤り率を算出した。追加したコネクタを含めたソケット用・ピン用について算出した平均誤り率は、ソケット用において閾値 75, 正解率 100.0%(1224/1224), ピン用において閾値 188, 正解率 100.0(1224/1224)となった。

(3) コネクタ表面でのピン挿入ストローク長さの良否判定

(2) で開発したアルゴリズムは挿入されたピンまたはソケットが照明光を反射させる際の輝度を用いて挿入判定を行う。そのため、ピン挿入ストローク長さは判定できない。複数カメラを用いた手法も検討したが、嵌合面の内部に存在するソケットの挿入が不完全か否かをカメラで判定することはできない。ピンについては挿入ストロークを3次的に捉えることができれば、長さの判定は可能になると考えられるので、今後のフォローアップ研究の課題として取り上げていく。

(4) コネクタ表面でのピン曲がり有無画像の良否判定

(2) で開発したアルゴリズムでは、ピン曲がりに関しても、良否判定することはできない。ピン曲がりが発生した場合には、ピンのヘッドの位置がずれるため、それを検出することができれば、ピン曲がり有無画像の良否判定が可能になると考えられる。現在使用しているレンズでは、撮像される位置によりピンヘッドの位置がずれてしまい、ピン曲がりの検出はできない。そのため、主光軸がレンズ光軸に対して平行なテレセントリックレンズを使用する必要がある。これも同様にフォローアップ研究の課題に取り上げていく。

2-6 コネクタ組立での装置 (MS) の部分モデル、試作モデルの動作検証への取組内容と結果 (達成度)

今回の研究開発の段階においては、名古屋工業大学の実験室レベルにおいて、部分モデル、試作モデルでの研究開発及び、その中での動作検証であった。検証できたものは、コネクタ内のピン挿入位置(ピン挿入、未挿入)の配列上の良否判定、及びコネクタ裏面での該当ピン位置へ光ビームで案内するシステムを実現する「ピン位置指示の光学実験用装置」である。そして、これらの実現に必要な各種のアルゴリズムの作成と検証を同時並行で行った。

ピン挿入のストローク長さ良否判定、及びピン曲がりの良否判定の動作検証は、至らなかったが、それを為すための技術的手法の考察を行うことができた。この続きは、今後のフォローアップ研究において取り上げていく。

2-7 MW、LM、MSのWH組立作業現場での使用と改善・改良点の洗い出し

今回の研究開発の期間を通じて、MW(電線番号読み取り、ピンかしめ認識、電線被覆剥ぎ傷認識に対応する多機能型)、LM(携帯型の電線番号読み取り、バーコード、英数字の読み取り型)、MS(コネクタ組立でのピン位置指示、ピン挿入位置認識型)に関する第一次試作品及び実験室レベル試作品が出来上がり、この段階において試行使用と検証を行い、更なる改良点を見出して動作ソフトウェア(ファームウェア)及びアルゴリズムの向上反映へつないでいった。

尚、以下に添付のような、現場での使い方を検討しながら改善、改良点の抽出につなげていった。

開発器材の使用想定

WH製作 布線工程

①LMを使い、電線番号を読ませ、END1のITEM No.を知り、そのNo.毎に仕訳

②LMを使い、電線番号を読ませEND2のITEM No.を知り、ボード上の位置に延ばす

③LM又はMWにより、ITEM No.毎に電線番号を読ませ、必要分があるか確認

WH(例:96A85005-001)を構成する電線番号とコネクタの接続
ピン番号

電線番号	END1側	ピン番号	ピンの部品番号	END2側	ピン番号	ピンの部品番号
WIRE No.	ITEM No.	PIN No.	PIN P/N	ITEM No.	PIN No.	PIN P/N
WUPE345S-14A	P101	1	M39029/58-360	P102		MM39029/56-348
JUSPE0C-19BG 12-4 W7	P101	2	M39029/58-360	P102		AM39029/56-348
JRMCZH190A 12-8 W5	P101	3	M39029/58-360	P102		NM39029/56-348
TA/C107AIN 12-9 W3	P101	4	M39029/58-360	P102		XM39029/56-348
RA2007A22BL	P101	5	M39029/58-360	P102		BM39029/56-348
RA2007A22YL	P101	6	M39029/58-360	P102		VM39029/56-348
RA2007A22RD	P101	7	M39029/58-360	P102		CM39029/56-348
RN1003B22	P101	8	M39029/58-360	P102		QM39029/56-348
RN1010B20	P101	9	M39029/58-360	P102		DM39029/56-348
X203A20	P101	10	M39029/58-360	P102		RM39029/56-348
C267G20N	P101	11	M39029/58-360	P102		SM39029/56-348
G23A16	P101	12	M39029/58-360	P102		EM39029/56-348
...						
...						
...						

第3章 (最終章) : 開発最終度 (平成24年度) の総括

3-1 平成22年度～24年度の研究開発成果

平成22年の初年度は、開発目標とするハードウェア機器の第一次試作、及び自動判定ソフトウェアに供することになるアルゴリズムの開発につなげる基礎的な各種の実験が主体であった。

また、二年目の平成23年度は、組み込みソフトウェアの開発が最盛となり、連携開発先である株式会社アイキューブテクノロジー、名古屋工業大学大学院、そして要求発信者である東洋航空電子株式会社の関係者の努力と支援により、第一次試作器材のハードウェアに内蔵 (組み込ませる) させるソフトウェアの試作、又は製作までたどり着いた。

最終年度である平成24年度は、これらの改良、及び自動判定のアルゴリズムを開発器材へ入れ込み、そして、ワイヤーハーネス製作現場での使用を想定し、より小型で携帯でき使い易い器材の追加試作と初動的な動作検証を行い、実用性追求も進めた。

その結果、各種アルゴリズム (電線番号の読み取り、電線被覆剥ぎ検査、ピンかしめ検査) は、実用に供し得るレベルまでの開発が進んだ。

3-2 研究開発後の課題・事業化展開

(1) 今後の課題

今回の研究開発段階においては、開発試作深さのレベル差はあるものの、当初目標に近いMW、CMW、LM、そしてMSの四つの試作品を製作、検証、動作評価を行うことが出来た。今後の最大の課題は、それらの実用化であり、以下のようなことを主体に補間研究として継続して行く予定である。

- CMW : 小型表示器との合体、開発された各種アルゴリズムの移植と検証 (含む現場)
- LM : 電線番号読取アルゴリズムの移植、他の文字・数字読取アルゴリズムの開発、移植と検証

- ・MS：実用的試作品として装置化(パッケージ化)、アルゴリズムの移植と各種コネクタでの検証(含む高密度配線組立の現場においての使い方検証)
- ・以上の器材のデータサーバーとの接続と動作検証

(2) 今後の事業化展開

今回開発した器材類の事業化主体は、コスト低減を強く求められる民間航空機の高密度配線組立用の器材であり、早急に実用化を実現し、今回の研究開発のプロジェクトリーダーの企業、及び同業の企業での採用を見込んでいる。

一方、その採用をより強固にしていく位置付けとして、次のような拡大領域があることも今回の研究検討の中で見出しており、今後、機会ある事に各種展示会等へ出展し、売り込みを図っていく予定である。

(開発器材の事業化狙い拡大領域について)

①種々の製造工程における傷検査器材へのLMの活用可能性

民間航空機は40～50年にわたり使用されるので、その間の疲労破壊と腐食の防止を図るため、構成部品及び組立体での傷なし要求があり、現状は工程毎に目視確認・記録を行っている。多種多様の部品と組立体があり、小型で使い易い検査、記録器材への潜在ニーズがあり、本LMは有力候補である。

②ISO要求器材に対するガイド兼記録器材へのLMの活用可能性

航空宇宙の品質ISOにおいては、種々の定期的な(日毎、週毎、月毎、期毎、年毎)点検・確認の実施と証拠記録が、要求されている。

この定期的な要求事項に対する指示内容が、ハンディタイプの器材に表示され、次の操作で生画像を記録・判定可能であれば、本LMは有力候補となる。

(参考) 民間航空機での国際規格での検査要求と記録要求の事例

民間航空機製造における特殊工程に関しての国際認証システムとしてNadcap (National aerospace and Defense contractors accreditation program) があり、そこには欧米の機体製造会社、エンジン製造会社、装備品製造会社がメンバーとして参加している。

特殊工程認証の要求事項の中に、ワイヤーハーネスの製作工程も含まれており、その中に、①電線の被覆剥ぎでの傷許容の定義と確認、被覆剥ぎ長さの検証と記録、②ピンかしめ及び汚れの許容定義がある。

今回開発のCMW、LM、及びMSが実用完成できれば、これら要求への実証・記録の適合器材と成り得るので、海外エリアでの販売促進も効果的できることになる。

以上、成果報告させていただきましたが、この3ケ年にわたり、ご支援、ご指導、ご協力いただきました各位様に、厚く御礼申し上げます、成果報告書の締めいたします。誠にありがとうございました。