

平成28年度
戦略的基盤技術高度化・連携支援事業
戦略的基盤技術高度化支援事業

「金属ベローズ外観目視検査の光学自動化による
高品質低コスト化技術の研究開発」

研究開発成果等報告書

平成29年3月

担当局 中部経済産業局
補助事業者 公益財団法人石川県産業創出支援機構

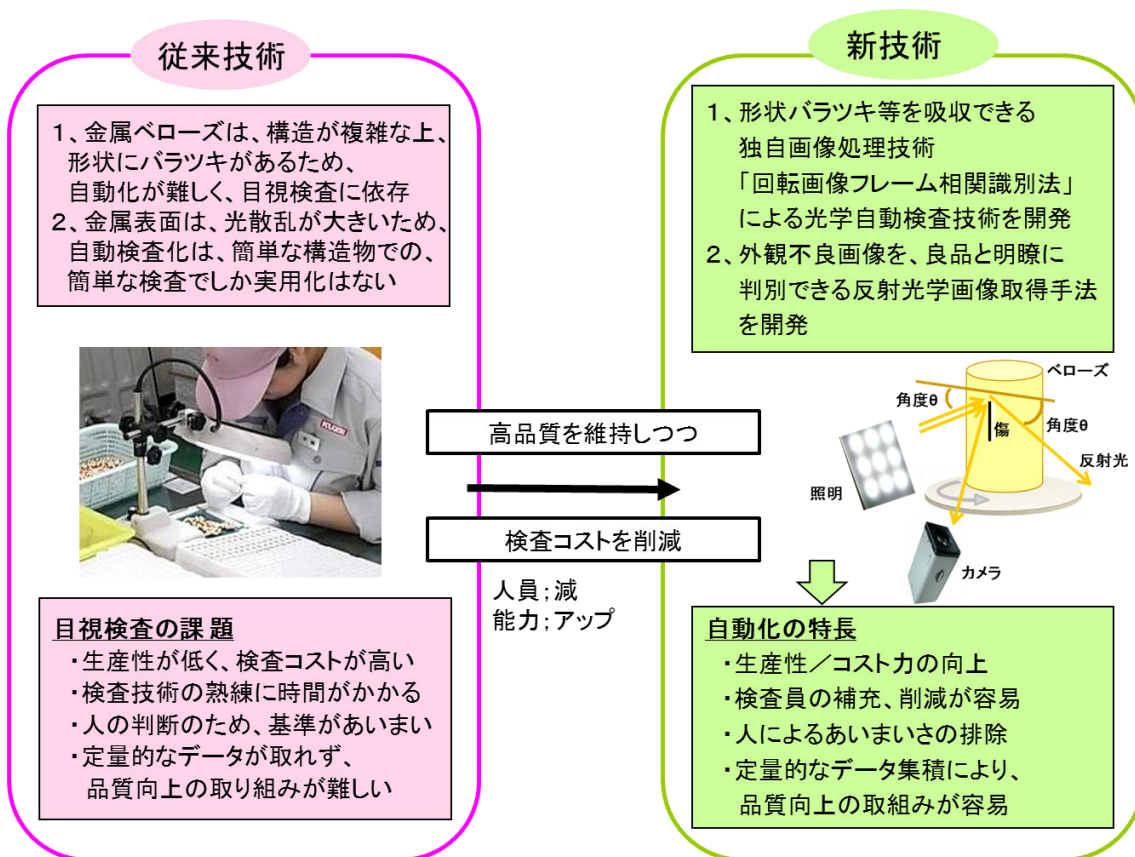
目 次

第1章 研究開発の概要	1
1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標	1
1-2 研究体制	4
1-3 成果概要	7
1-4 当該研究開発の連絡窓口	8
第2章 本論	9
2-1 金属ベローズの外観不良を良品と明瞭に分別できる光学画像取得手法の研究開発	9
2-2 金属ベローズの装置内搬送と回転反射画像取得制御システムの研究開発	9
2-3 金属ベローズの外観不良を良品と分別する画像処理技術の研究開発	10
2-4 上記を統合した光学自動検査装置化技術と金属ベローズの不良画像データベースの研究開発	11
最終章 全体総括	
3-1 研究開発成果	12
3-2 研究開発後の課題・事業化展開	13

第1章 研究開発の概要

(株)ベローズ久世は、高品質が要求される省エネ型(インバータ)エアコン用シームレス成形金属ベローズの有力メーカーである。最近、インバータ・エアコンの海外展開が加速しており、川下事業者からは、海外後発メーカーとの競争激化に勝ち抜くため、この金属ベローズの低コスト化が強く要望されている。そのため、従来金属ベローズでは不可能とされてきた外観目視検査の光学自動化により、高品質性を維持しつつ検査コストの削減を図る。本研究開発成果は、エアコン以外にも、産業/重電機器/医療健康機器等の用途の金属ベローズにも展開が可能で、様々な分野での産業競争力強化が期待される。

従来不可能だった外観目視検査の自動化により、金属ベローズの低コスト化を実現
→川下事業者による省エネ型(インバータ)エアコンの海外展開、競争力強化に貢献



1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

(1) 研究背景

金属の外観不良の光学自動検査は、金属表面での光の反射や散乱が大きいいため、明瞭に良否判別可能な不良傷光学画像の取得が難しく、これまで簡単な構造物での簡単な検査でしか

実用化されていない。光の散乱を避けるためラインスキャナを用いる手法や縞状光源を用いる手法等が周知であるが、本研究開発の対象の金属ベローズは、構造が複雑な 3 次元構造のため、様々な外観不良を明瞭に識別できる「反射光学画像」の取得が極めて難しく、これまで自動化は断念せざるを得なかった。

一方、(株)ステンレス久世は、金沢工業大学、石川高等専門学校と共同で、同様に光学自動検査化が困難とされてきた、細く長いクリーン鋼管内面傷の目視検査に関し、「透過光学」画像を用い、3次元構造の鋼管内面を2次元化する独自手法を用いて光学自動化技術の開発に成功した。その「目視検査の自動化」に関するノウハウを活かし、新規事業として推進するには、「反射光学」技術分野にも、固有技術の蓄積が重要である。

そこで本事業で、金属ベローズを回転させながら照明を照射して「反射光学」回転画像を取得し、独自の画像処理技術で良否判別する自動検査技術を開発実用化し、金属ベローズの低コスト化を図ると共に、「目視検査の自動化」を新事業として展開する新たなコア技術とする。

(2) 研究目的及び目標

(十一) 測定計測に係る技術に関する事項

1 測定計測に係る技術において達成すべき高度化目標

(3) 川下分野横断的な共通の事項

①川下製造業者等の共通の課題及びニーズ

カ. 低コスト化

金属ベローズは、自在な伸縮性・曲げ特性、高気密性から、各種自動制御、高・低圧、真空、計測、流量・気圧調整、振動・膨張吸収等の基幹部品として、様々な機器に使われている。(株)ベローズ久世はこの金属ベローズに関し、肉厚均一性や寸法・形状安定性に優れる、「液圧による成形工法」という独自の製造技術を保有しており、1939 年以来、小型金属成形ベローズの有力メーカーである。

特に、最近海外展開と需要増大が著しい省エネ型（インバータ）エアコンの基幹部品である電子式流量制御弁用シームレス成形金属ベローズ（図）の有力メーカーである。



インバータ・エアコン用
シームレス成形金属ベローズ

このシームレス成形金属ベローズは、これまで日本や先進諸国の企業が生産していたが、中国・韓国の一部企業の新規参入が始まっており、今後、競争激化が予想されている。

シームレス成形金属ベローズの川下事業者では、グローバル展開を加速し海外生産化や現地化等を展開中であるが、激化した国際競争を勝ち抜くため、金属ベローズについて、高品質を維持しつつ更なる低コスト化を強く要望されている。

金属ベローズは、金属の変形性と復元力を利用して伸縮や曲げ作動を可能にするもので、金属ベローズ襜の厚さが極めて薄く均一で、打痕や変形等の傷のない形状と清浄な表面が必須であり、疲労寿命や腐食性に影響する表面外観傷や不純物付着の変色等、高品質確保のための外観傷検査を、熟練工による目視検査に頼らざるを得ない。特に最近では目視検査員の人材確保が難しく育成にも時間が掛り、検査工程の能力向上が図れず、検査コストの原価に占める割合が高くなり、低コスト化の最大の課題になっている。

本研究開発では、これらの課題解決のため、目視検査の自動化技術を開発する。また同時に金属ベローズの不良画像データベースを開発し、高品質確保を容易にする。

②上記を踏まえた高度化目標

(十一)測定計測に係る技術に関する事項

1 測定計測に係る技術において達成すべき高度化目標

(3)川下分野横断的な共通の事項

②高度化目標

キ. 低コスト化

光学自動検査の固有技術/ノウハウを保有する㈱ステンレス久世と共同で、従来技術では不可能とされてきた金属製シームレス成形ベローズ(以下、金属ベローズと呼ぶ)目視検査の光学自動検査技術を確立し、それを実用化することにより、川下事業者の要望である金属ベローズの低コスト化を達成する。そのため、検査時間短縮と検査能力向上を実現し、金属ベローズ検査コストの削減を図る。

また本自動化装置により、目視検査によるあいまいさを排除し、不良傷や変色等を画像データとしてデータベース化しそれ等を解析して製造工程にフィードバックすることにより、不良削減や信頼性向上への取り組みを強化する。

<研究開発課題と技術目標>

【1】金属ベローズ外観目視検査の光学自動化による高品質低コスト化技術の研究開発

【1-1】金属ベローズの外観不良を良品と明瞭に分別できる金属回転反射画像取得手法の研究開発

目標；全ての外観不良に関し、画像処理が可能な画像取得ができること

【1-2】金属ベローズの装置内搬送と回転反射画像取得制御システムの研究開発

目標；搬送&画像取得処理速度の高速化

【1-3】金属ベローズの外観不良を良品と分別する画像処理技術の研究開発

目標；画像処理速度の高速化

【1-4】上記を統合した光学自動検査装置化技術と金属ベローズの不良画像データベースの研究開発

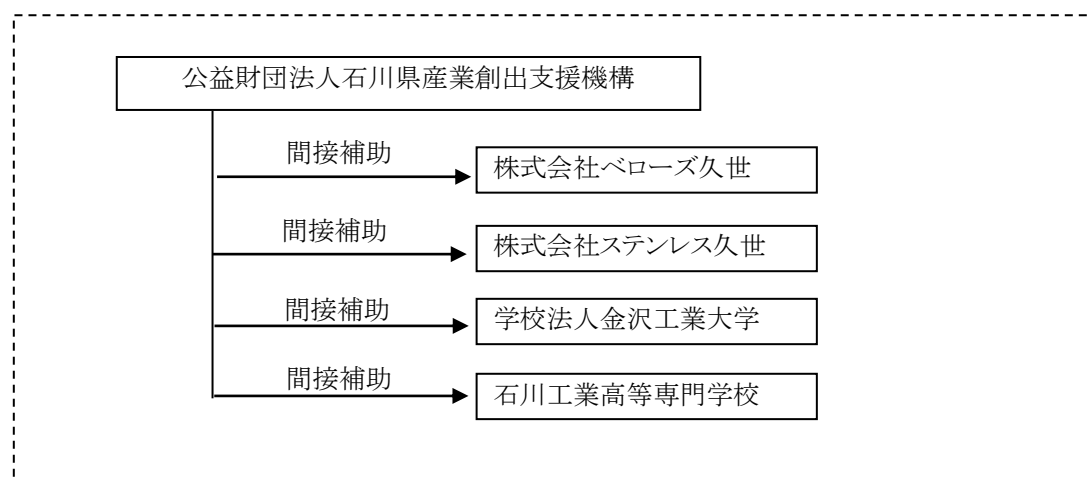
目標；検査コストの削減

1-2 研究体制

(研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)

(1) 研究組織・管理体制

<組織全体>

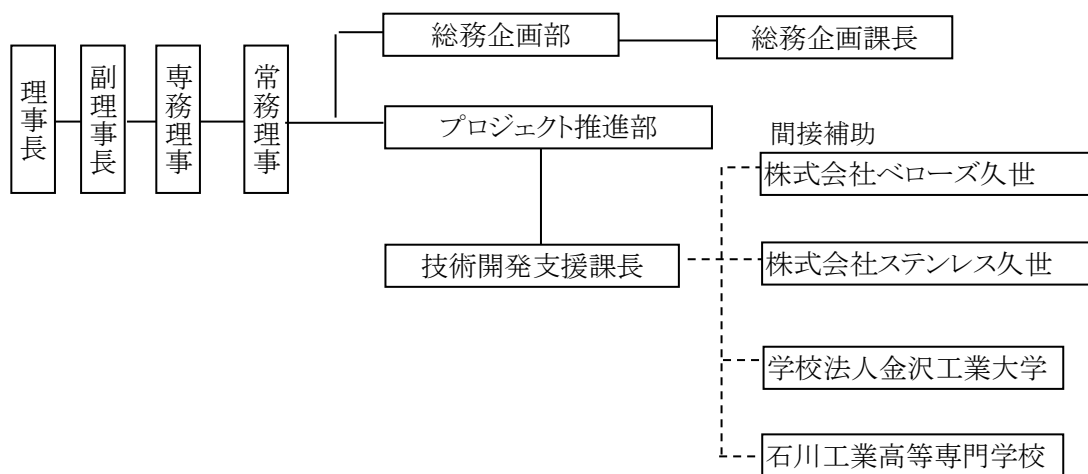


総括研究代表者 (P L)
株式会社ベローズ久世
顧問 南部 修太郎

副総括研究代表者 (S L)
学校法人金沢工業大学
准教授 黒瀬 浩

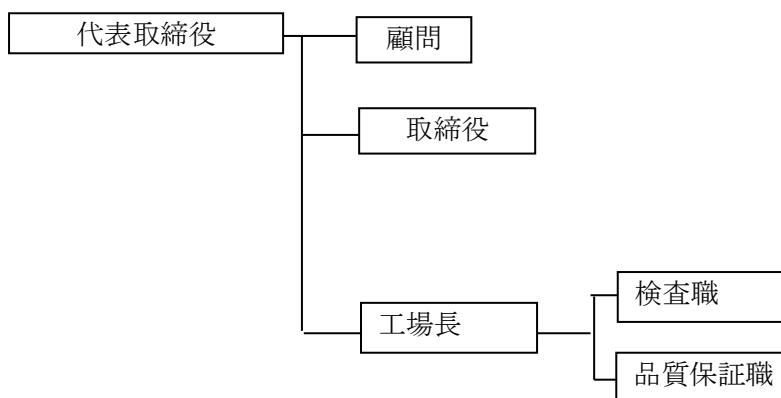
① 事業管理者

公益財団法人石川県産業創出支援機構

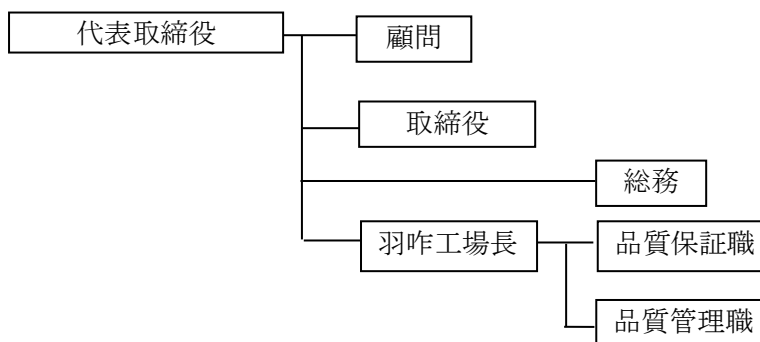


② 間接補助先

株式会社ベローズ久世



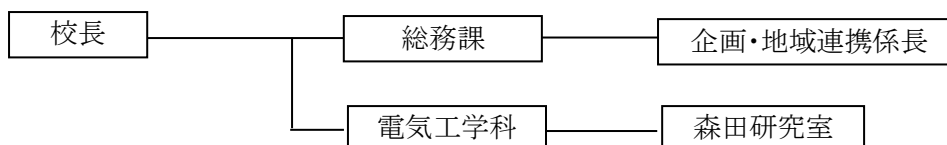
株式会社ステンレス久世



学校法人金沢工業大学



石川工業高等専門学校



(2) 研究者氏名

氏名	所属・役職
南部 修太郎	株式会社ベローズ久世 顧問
河合昭彦	株式会社ベローズ久世 検査職 職長
宮嶋三臣	株式会社ベローズ久世 品質保証職 職長
中島 恵理	株式会社ベローズ久世
宮竹さゆり	株式会社ベローズ久世
橋本温香	株式会社ベローズ久世
亀本 朗弘	株式会社ステンレス久世 品質保証職
黒瀬 浩	金沢工業大学 工学系 情報工学科 准教授
森田 義則	石川工業高等専門学校 電気工学科 教授

(3) アドバイザー

氏名	所属・役職
堀野 裕治	国立研究開発法人 産業技術総合研究所九州センター 所長代理

(4) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

(事業管理者)

公益財団法人石川県産業創出支援機構

(経理担当者) 総務企画部総務企画課長 中尾 一也

(業務管理者) プロジェクト推進部 技術開発支援課 山崎 拳捷

(間接補助先)

株式会社ベローズ久世

(経理担当者) 総務 細川 博史

(業務管理者) 顧問 南部 修太郎

株式会社ステンレス久世

(経理担当者) 総務 荒井 諭

(業務管理者) 品質保証職 試験班 亀本 朗弘

金沢工業大学

(経理担当者) 産学連携局 研究支援課長 半田 剛

(業務管理者) 工学系 情報工学科 准教授 黒瀬 浩

石川工業高等専門学校

(経理担当者) 企画・地域連携係長 出村 千恵子

(業務管理者) 電気工学科 教授 森田 義則

1-3 成果概要

- (1) 金属ベローズ全不良の鮮明な外観画像の取得、良否判別、不良種判別がほぼ可能に
複雑な形状のため、これまで困難とされてきた金属ベローズ全不良の鮮明な外観画像の
取得を、白黒ラインセンサ、カラーラインセンサの導入、及び新しい画像取得技術の開発
で可能にすると共に、画像取得条件、検査条件の最適化により、全不良の良否判別及び不
良種識別をほぼ可能にした。

(2) 高速化のため並列化自動検査装置制御システムを開発した

高速化のため、自動検査装置動作に並列して画像処理する制御システムを開発した。また作業者が操作ボードから検査条件や検査規格を変更できる等、様々な測定モードや自動検査モードの操作性を改善した。

(3) 全不良の特長を抽出した新画像処理プログラムを開発し、全不良が判別可能に

画像処理条件を最適化し検査精度を高めると共に、通常の画像処理手法では良否判別が難しい不良項目に対し、それぞれの不良の特長を抽出し処理する新しい画像処理アルゴリズムを開発して判別可能とした。またノイズとの判別が難しい不良項目に対し、ラベリング画像処理手法を導入して検査精度を高めた。その結果金属ベローズの全不良の良否判別がほぼ可能になった。

(4) 多数のサンプルで検証して検査規格を策定し、全不良項目の検査が可能であることを確認

試作したプログラムを自動検査装置機に実装し、多数の金属ベローズ不良サンプル、不良限界サンプル、良品サンプルで検証して検査規格を策定すると共に、全不良項目の検査がほぼ可能なことを確認した。多数の生産ロットによる現場検証での、目視検査との一致度の確認と検査精度の向上についての取り組みは未だ不十分であるが、実用化の目途を高めた。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

所属：株式会社ベローズ久世

氏名・役職：顧問 南部 修太郎

電話番号：076-289-2131

FAX: 076-289-4141

E-mail: b-info@kuze.com

第2章 本論

2-1 金属ベローズの外観不良を良品と明瞭に分別できる光学画像取得手法の研究開発

(株ベローズ久世、(株)ステンレス久世、石川工業高等専門学校、金沢工業大学)

目標；全ての外観不良に関し、画像処理が可能な画像取得ができること

具体的内容；

平成 26 年度の成果及びその効果：

金属ベローズの全外観不良の鮮明な画像取得を可能にするため、エリアセンサ、ラインセンサ、3D カメラの 3 種について、光学画像取得装置の基本構成仕様を決定した。また、金属ベローズの代表的な不良について、エリアセンサ、ラインセンサ、及び 3D カメラで、画像取得条件を最適化し鮮明な外観不良回転画像の取得を可能にした。

平成 27 年度の成果及びその効果：

白黒ラインセンサ、カラーラインセンサを導入し、画像取得条件を最適化して、金属ベローズ全不良の鮮明な外観画像取得方法を可能にした。また新しい画像取得技術を開発し、検査条件を最適化して、全不良の良否判別、及び不良種識別をほぼ可能にした。

平成 28 年度の成果及びその効果：

多数の金属ベローズサンプルによる検証中に、金属ベローズのバラツキにより画像取得条件が変化するトラブル、及び金属ベローズの設置場所の微妙なばらつきによる画像歪みトラブルが発生したが、新検査条件を設定し解決した。また投入ロット毎に抜き取りでその素性を管理できるシステムを構築し、多数ロット検査時のバラツキを管理できるようにした。

2-2 金属ベローズの装置内搬送と回転反射画像取得制御システムの研究開発

(株ベローズ久世、(株)ステンレス久世、石川工業高等専門学校、金沢工業大学)

目標；搬送&画像取得処理速度の高速化

平成 26 年度の成果及びその効果：

自動検査装置の搬送装置の詳細仕様を決定すると共に、エリアセンサ、ラインセンサ、及び 3D カメラの、画像取得制御ソフトを開発した。また自動検査装置の搬送系と画像処理系の制御を行う自動検査装置の光学系制御システムの詳細仕様を決定し、プロトタ

イブを開発試作し、その基本動作を確認してプロトタイプの開発試作を完了した

平成 27 年度の成果及びその効果：

設定した検査条件を、自動検査装置で実施するために必要なシステム制御ソフトを開発試作した。また作業者が、自由に検査規格、検査条件の設定を変更できるように、操作性を改善した。

平成 28 年度の成果及びその効果：

高速化のため、画像処理をサンプル移動時に並列して処理するシステムを開発し、ほぼ目標速度を達成した。また作業者が操作ボードから検査条件や検査規格を変更できる等、様々な測定モードや自動検査モードの操作性の改善を行った。

2-3 金属ベローズの外観不良を良品と分別する画像処理技術の研究開発

(株)ベローズ久世、金沢工業大学、(株)ステンレス久世)

目標；画像処理速度の高速化

平成 26 年度の成果及びその効果：

画像処理の基本構成を決定し、本独自画像処理技術を用いたプロトタイプ（1 次）試作を行った。また金属ベローズの代表的な不良について、エリアセンサと 3D センサの不良画像を用いて、その基本動作を確認した。

平成 27 年度の成果及びその効果：

ラインセンサ画像に適した、新しい画像処理アルゴリズム「フレーム背景差分法」を開発した。また不良の特徴を抽出する新しい画像処理アルゴリズムを開発し、全不良の判別や識別をほぼ可能にした三次試作を行った。

平成 28 年度の成果及びその効果：

三次試作で発生した様々なプログラムバグを解決すると共に、全不良について画像処理条件を最適化し検査精度を高めた。また三次試作の画像処理手法では良否判別が難しかった複数の不良項目に対し、それぞれの不良の特長を抽出し判別する新しい画像処理アルゴリズムを四次試作として開発した。また同時にノイズとの判別が難しい不良項目に対

し、ラベリング画像処理手法を導入しノイズとの判別を容易にして検査精度を高めた。

2-4 上記を統合した光学自動検査装置化技術と金属ベローズの不良画像データベースの研究開発（㈱ベローズ久世、㈱ステンレス久世、石川工業高等専門学校、金沢工業大学）
目標；検査コストの削減

平成 26 年度の成果及びその効果：

光学自動検査装置プロトタイプの詳細仕様を決定し開発試作すると共に、試作した自動検査装置に、上記の成果を導入・実装し、基本動作を確認し検収を完了した。

また金属ベローズの外観不良のデータベース作成のため、目視検査の現場で、全外観不良サンプルを収集・整備した。

平成 27 年度の成果及びその効果：

三次試作の検査条件と検査規格を策定すると共に、その検査プログラムを開発試作し、自動検査装置機に実装した。また検査速度を評価し更なる高速化のため、画像処理を並列処理するようシステム制御ソフトを改善すれば、ほぼ目標の検査速度達成の見込みを得た。

平成 28 年度の成果及びその効果：

三次試作、四次試作で試作したプログラムを自動検査装置機に実装し、多数の金属ベローズ不良サンプル、不良限界サンプル、良品サンプルで検証することにより新検査規格を策定した。その結果、全不良項目の検査がほぼ可能なことを確認した。また目視検査との一致度の検証に着手した。その結果、実用化の目途を高めた。

最終章 全体総括

3-1 研究開発成果

(1) 金属ベローズ全不良の鮮明な外観画像の取得、及び良否判別、不良種判別

複雑な形状のため、これまで困難とされてきた金属ベローズ全不良の鮮明な外観画像の取得を、白黒ラインセンサ、カラーラインセンサの導入、及び新しい画像取得技術の開発で可能にすると共に、画像取得条件、検査条件の最適化により、全不良の良否判別及び不良種識別をほぼ可能にした。

(2) 高速化のため並列化自動検査装置制御システムを開発

高速化のため、自動検査装置動作に並列して画像処理する制御システムを開発した。また作業者が操作ボードから検査条件や検査規格を変更できる等、様々な測定モードや自動検査モードの操作性を改善した。

(3) 全不良の特長を抽出した新画像処理プログラムを開発し、全不良の良否判別

画像処理条件を最適化し検査精度を高めると共に、通常画像処理手法では良否判別が難しい不良項目に対し、それぞれの不良の特長を抽出し処理する新しい画像処理アルゴリズムを開発して判別可能とした。またノイズとの判別が難しい不良項目に対し、ラベリング画像処理手法を導入して検査精度を高めた。その結果金属ベローズの全不良の良否判別がほぼ可能になった。

(4) 多数のサンプルで検証して検査規格を策定し、全不良項目の検査

試作したプログラムを自動検査装置機に実装し、多数の金属ベローズ不良サンプル、不良限界サンプル、良品サンプルで検証して検査規格を策定すると共に、全不良項目の検査がほぼ可能なことを確認した。多数の生産ロットによる現場検証での、目視検査との一致度の確認と検査精度の向上についての取り組みは未だ不十分であるが、実用化の目途を高めた。

3-2 研究開発後の課題・事業化展開

(1) 想定している具体的なユーザー、マーケット及び市場規模等に対する効果

1) シームレス形成金属ベローズ (株ベローズ久世担当)

(株ベローズ久世の金属ベローズは、省エネ型（インバータ）エアコン主要メーカーで、その基幹部品である流量制御装置用として、大量に使用されている。

日本では、省エネ型（インバータ）エアコンが、エアコン市場のほぼ 100%を占めるが、海外では、その普及率はまだ低い。しかし地球温暖化や、省エネ規制の強化、発展途上国の富裕層増加、等などの要因で、今後世界的に需要が急増するとみられている。そのため金属ベローズのエアコン向け市場も、年率 5%の増加を予測している。

なお富士経済の市場予測によれば、2011 年のルームエアコンの世界の全生産台数は 1 億 5,099 万台で、特に中南米・中国・アジアの増加が著しく、年間 30%強の成長が見込まれている。特に省エネ型（インバータ）エアコンでは日本企業の技術力が高いため、市場占有率でも当社の有力川下事業者が世界シェアトップに成長する等、今後急速に海外市場への展開が増えると予測されている。

またカーエアコンでも省エネ（省燃費）化が進んでいる。特に、金属ベローズを使用している可変容量型コンプレサーは、エンジンやモーターに負荷がかかりにくいという特長を有するため、車載用として有利であり、特に最近、カーエアコンの普及が急増している海外市場での増加が著しい。最近では、地球温暖化の影響で、新興国や北欧でも、カーエアコンが必需品となっており、今後、車載用エアコン市場も海外市場が大きく増加すると予測されている。そのためこの事業分野でも、金属ベローズの海外市場の増加が著しいと期待される。

2) 目視検査の光学自動化 (株ステンレス久世担当)

目視検査は、現在も依然として高品質が要求される様々な分野で、特にコア技術を持つ多くの中小企業で、実施されている。特に本研究開発が対象とする、高品質が要求される様々な金属部品の外観検査は、数が多いにも係らず自動化が難しく、低コスト化の阻害要因になっている。そのような例として、様々なパイプ内面傷の目視検査や、深絞りした Li 電池缶外観検査、ベアリング用リテーナー等がある。

本研究開発の実用化後、その技術の応用展開として、高品質が要求される金属部品の外観目視検査を行っているメーカーを対象に、自動化装置の開発受託事業を展開する。また受

託開発完了後も、開発した自動化装置のバージョンアップやメンテナンス作業を、事業収入とするビジネスモデルを想定している。

(2) 事業化に至るまでの遂行方法や今後のスケジュール

【販売促進戦略】

1) 金属ベローズ (㈱ベローズ久世担当)

当社の主要川下事業者は、インバータ・エアコン用流量制御装置を納入する有力メーカーである。そこでまず川下事業者に対し、当社の金属ベローズが、目視検査ではなく本光学自動検査装置で外観検査することで、高い信頼性とコスト力が得られることを大きな特長としてPRし、インバータ・エアコン用金属ベローズの販売促進に繋げる。具体的には、販促資料や、顧客の工場監査時の検査装置稼働現場の紹介等でPRして、顧客信頼度や安心感を増大させる。

また、上記以外の既取引のあるメーカーやそうでないメーカーに対しても、同様の販売促進活動を行う。特に、海外市場の成長が大きいことから、海外メーカーに対しても同様の販売促進活動を行い、グローバル展開を図る。

また、エアコン以外の用途の川下事業者に対しても、本自動検査装置により低コスト/高品質の金属ベローズが可能になることをPRし、新たな需要の開拓を図る。

2) 目視検査の光学自動化 (㈱ステンレス久世担当)

目視検査の自動化を新規事業として立ち上げるため、本金属ベローズ外観目視検査の光学自動検査装置（反射光学系）や、クリーン鋼管内面傷目視検査の光学自動検査装置（透過光学系）等、従来難しいとされてきた目視検査の光学自動装置化を例にあげて、販促資料を作成して、特に高品質金属部品の目視検査を実施しているメーカーに対してPRし、受託開発の受注開拓を図る。

また特に生産量の多い被検査部品に関しては、本自動検査装置による検査をその部品業界で標準化する取り組みを推進することにより、既に開発した自動化検査装置の拡販を図る。

【事業化体制】

1) 金属ベローズ (株ベローズ久世担当)

本研究開発事業で研究開発する金属ベローズ外観目視検査の光学自動検査装置は、本共同研究機関に加え、外注先の協力を得て試作し、(株)ベローズ久世内に設置する。その後、実用化に必要な改造を加え、生産現場で検査精度や作業性の向上を図り、実用化する。

また、医療機器、ロボットに使われる金属ベローズ等、新たな金属ベローズの開発に際し、必要に応じて、新たな光学自動検査装置の増設も検討する。

2) 目視検査の光学自動化 (株ステンレス久世担当)

本研究開発の実用化後に、「目視検査の光学自動化学業」推進のため、新会社設立を計画している。今後の様々な光学自動検査装置の受託開発に際して、新会社を中心に、共同研究開発機関及び外注先と協力して対応する。