

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

「任意切断面の寸法が安定な、食品製造業界向け耐熱機能性ホースの精密一体成形技術の確立」

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	公益財団法人富山県新世紀産業機構 株式会社トヨックス
間接補助事業者	株式会社中西電気 富山県工業技術センター

目 次

第1章 研究開発の概要

1－1 研究開発の背景・研究目的及び目標

（1）研究開発の背景

（2）研究目的・目標

（3）実施結果

1－2 研究体制

（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）

1－3 成果概要

1－4 当該研究開発の連絡窓口

第2章 本論

（1）補助事業の具体的研究内容

（2）本事業の研究成果

最終章 全体総括

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

(1) 研究開発の背景

食品製造業界で使用するホース配管では、漏れ・抜け・折れ等による安全・衛生上の危害リスクが多く、これらの排除は当該業界にとっては重要な管理項目になる。特に、食品の自動充填装置では、可動部でホースが多く使用され、これらは都度、高温で消毒滅菌する必要がある。配管内に高温の流体が流れる場合には、可動部で折れやすく、流体の停滞やそれによる継手部分への集中加圧などで、漏れ・抜け・破裂等のトラブルが発生し、不安全かつ不衛生である。これらのトラブルにより生産ラインが停止した場合、大手メーカーでは一回につき数千万円のロスとなる。株式会社トヨックスでは、これまでに、高温に耐える樹脂の配合技術、及び柔軟な樹脂へポリエステル系を巻き付けて耐圧性能を強化する技術、さらに剛性樹脂線材・SUS線材を巻き付けて、ホースを曲げて折れにくくする技術などを開発して、川下のリスク対策に貢献してきた。

しかしながら従来技術では、100%の課題解決には至らず、トラブルの防止・リスクの完全排除が困難となっていた。具体的な課題は以下になる。

- ① ホースの製造工程が第一・第二工程に分割していることで、積層の密着度や寸法にバラツキがあり、金具接合部で様々な問題が起きる。
- ② 押出機の吐出ムラ等により寸法変動が起きても気付かずに、川下に流出するリスクがある。
- ③ 補強精度が悪く、ホースの破裂や、内面の凸凹による液溜り等が発生する。
- ④ ホースの端面限定で寸法測定しているので、ホース全体の精度保証が困難である。

(2) 研究目的・目標

このため本研究開発では、以下を目的として取組んだ。

- ① 2分割工程を結合し、寸法精度、密着性、歩留りなど品質・効率を向上する。
- ② フィードバック技術の開発で各層の高精度化と自動コントロールを図る。
- ③ 補強材ピッチの動的測定と自動調整で製品の物理的な諸特性の向上を図る。
- ④ 製品寸法を動的測定し、全ての切断面で高精度寸法を保証できるようにする。

すなわち、5層連続一体成形加工することで密着性を高め、寸法精度を向上させることにより、「何処を切っても金太郎飴」を保証する高機能化を目指し、これを達成するため、6つの研究テーマとその目標値を以下に設定した。

【研究テーマと目標値】

1 チューブ押出工程による一定寸法・肉厚押出制御技術の確立

1-1 押出機の低水温温調制御技術の開発

適正温度シリンダー制御（目安:25±3℃）

1-2 ホースチューブの寸法・肉厚自動制御技術の開発

チューブ外径寸法精度（±0.1mm）、チューブ肉厚寸法精度（±0.05mm）

2 補強工程によるピッチ安定とピッチ測定技術の確立

2-1 NTS（ノーターションシステム）編上げのピッチ安定化技術の開発

ピッチ公差（±0.3mm⇒±0.1mm）、ピッチ異常不良率（0.1%⇒0.05%）

2-2 NTS 編上げのピッチ測定技術の開発

ピッチ測定範囲（ホース全周、連続測定）

3 締付け工程による、締付け張力にตอบสนองしたボビン回転トルク制御技術の確立

ピッチ精度（公差） ±10%⇒±5%

許容曲げ半径 19φ(140 mm以下)、 25φ(190 mm以下)、 38φ(290 mm以下)

4 設備運転条件・品質状態の監視、及び設備へのフィードバック技術の確立

適正条件範囲設定と実測値表示、及び異常予告発信と自動修正可能

5 2工程の複合一体成形化による製品の高精度化及び高効率化技術の確立

製品寸法公差（現状±0.9～1.8 mm⇒目標±0.3～±0.5 mm）

工程数 （現状2工程⇒目標1工程（複合一体成形）

6 寸法の高精度化を保証するエックス線測定技術の確立

3次元測定により鋼線ピッチmm、製品肉厚・内外径mmの測定可能

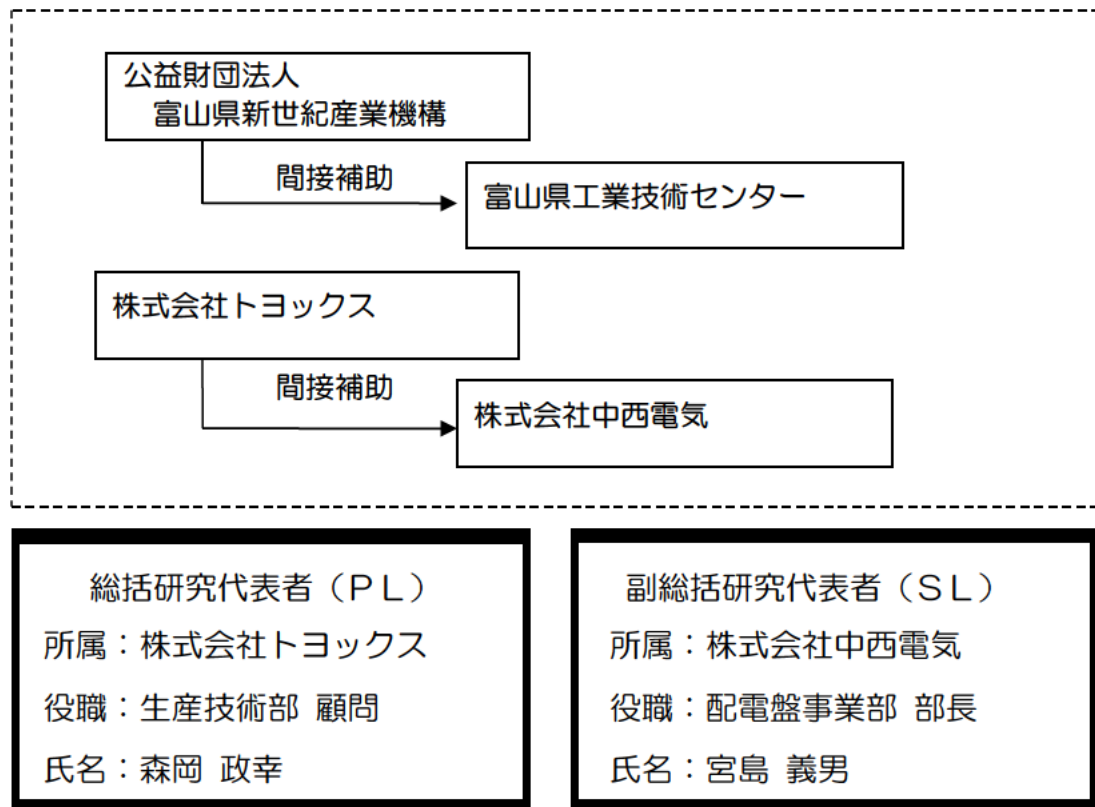
（３）実施結果

- １ 押出機の低水温温調制御技術の開発とホースチューブの寸法・肉厚自動制御技術の開発でチューブ外径寸法公差は $\pm 0.2\text{mm}$ （目標： $\pm 0.1\text{mm}$ ）まで達成できた。
- ２ NTS編上げのピッチ測定、安定化技術の開発では、ホース全周、ピッチ一個単位でのインライン測定と公差 $\pm 0.1\text{mm}$ のバラツキ範囲内に連続で自動コントロールできた。
- ３ 締付け工程による、締付け張力に応答したボビン回転トルク制御技術の開発で、ピッチ精度（公差）は現状 $\pm 10\%$ から $\pm 5\%$ まで達成した。さらに、許容曲げ R 半径も 25 ϕ ホースでは 190 mm以下をクリアした。ただし、他サイズにおいては今後試作する。
- ４ 設備運転条件・品質状態の監視、及び設備へのフィードバック技術においては、各設備機器から監視モニターへイーサネット通信で、運転条件監視及び品質状態を一元管理できるようになり、かつ異常警報発信から不良流出の歯止めができた。設備へのフィードバックにおいては、即応効果が求められるため、各層の測定情報からローカル制御できるように対応した。特に 1 層においては実施効果が顕著であった。
- ５ ２工程の複合一体成形化による製品の高精度化及び高効率化技術では、製品の公差目標とした $\pm 0.4\text{mm}$ （25 ϕ ）をクリアした。今後は、他サイズでも検証する。
密着強度においても 15%向上したが、このメカニズムも新潟大学協力の基で化学的に検証できた。但し、効率化においては、今後の課題として残った。
- ６ 寸法の高精度化を保証するエックス線測定技術においては、インラインで試作品の内・外径・肉厚がそれぞれ連続測定可能とし、目標とした寸法精度で加工できたことを確認した。また、線材ピッチはテーマ３において目標達成した。

１－２ 研究体制

（１）研究組織・管理体制

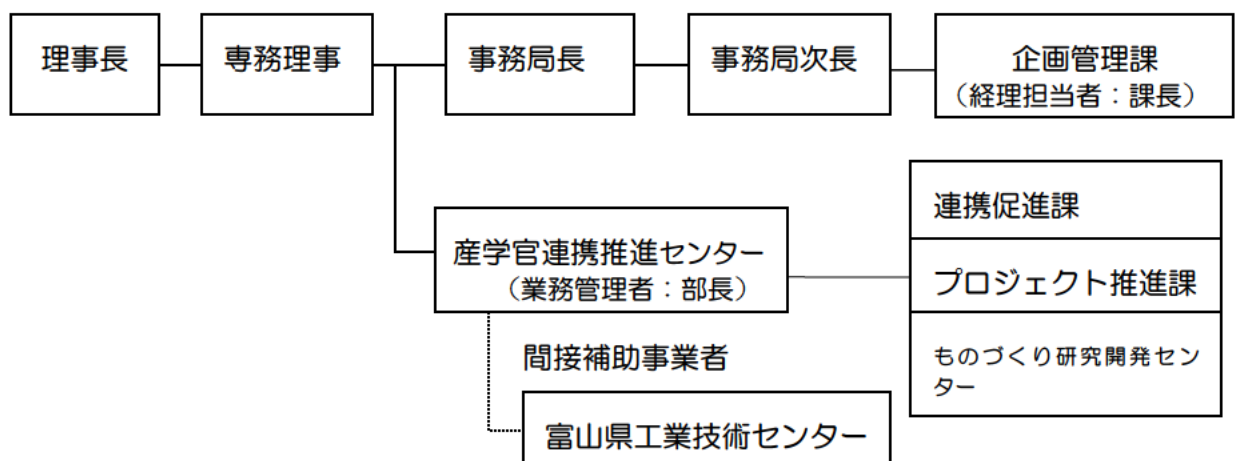
① 研究組織



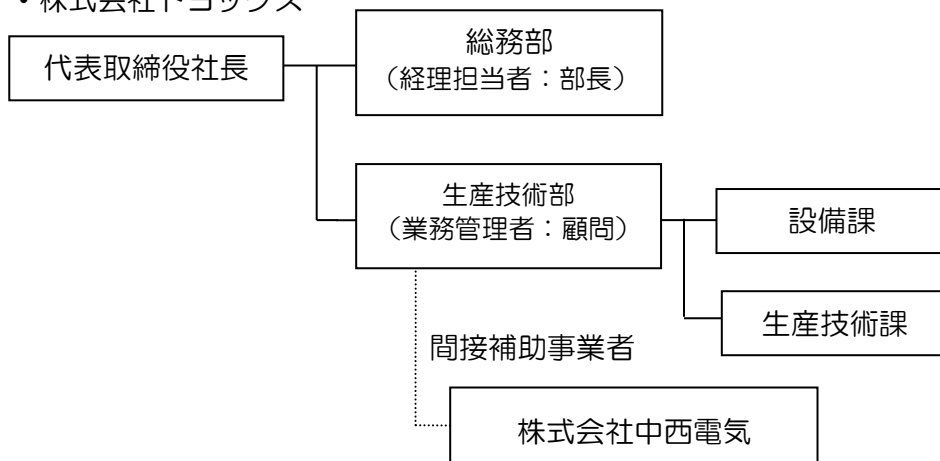
② 管理体制

②－１ 事業管理機関

・公益財団法人富山県新世紀産業機構

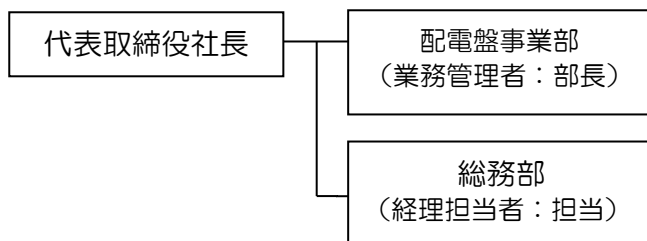


・株式会社トヨックス

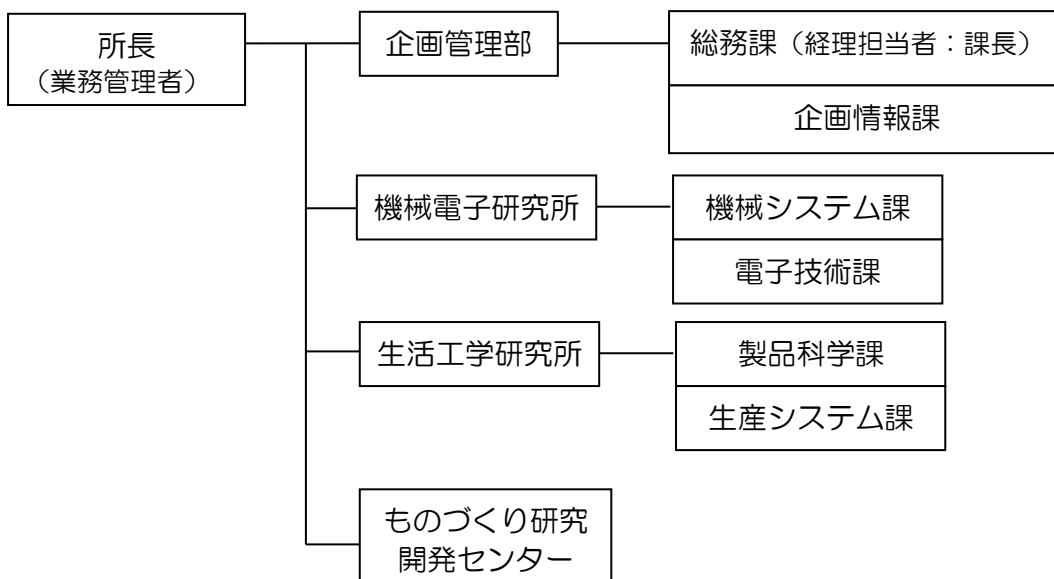


②ー２ 研究開発機関

・株式会社中西電気



・富山県工業技術センター



(2) 研究者氏名、協力者

【事業管理機関】

公益財団法人富山県新世紀産業機構

管理員

氏 名	所属・役職
角崎 雅博	産学官連携推進センター 部長
駒城 真人	産学官連携推進センター プロジェクト推進課長補佐
山崎 努	産学官連携推進センター プロジェクト推進課 副主幹
片桐 寛之	産学官連携推進センター プロジェクト推進課 主事

株式会社トヨックス

管理員

氏 名	所属・役職
森岡 政幸	生産技術部 顧問
中川 芳博	生産技術部 生産技術係長
廣川 琢也	生産技術部 生産技術担当
西川 清展	生産技術部 生産技術担当
前佛 洋平	生産技術部 生産技術担当
水島 直人	生産技術部 生産技術担当

【研究開発機関】

研究員

株式会社中西電気

氏 名	所属・役職
宮島 義男	配電盤事業部 部長
大勢待 智和	設計主任

富山県工業技術センター

氏 名	所属・役職
土肥 義治	次長・中央研究所 所長
川堰 宣隆	中央研究所 加工技術課 主任研究員

金森 直希	機械電子研究所 機械システム課 主任研究員
山本 貴文	中央研究所 材料技術課 研究員

協力者（アドバイザー）

氏 名	所属・役職
山内 健	国立大学法人新潟大学 工学部 機能材料工学科 教授
中崎 紀一	コウスト企画 代表
谷川 勝則	澁谷工業株式会社 プラント生産統括本部 プラント技術本部 部長

1-3 成果概要

本研究に必要な設備機器の開発は、平成 26 年度に、第 1～3 層目を開発、続いて 27 年度には 4～5 層目まで開発し、これを連結して 5 層一体成形ラインとした。これにより 5 層一体の精密成形技術の開発を本格的に実施できるようにした。28 年度は、各層に係わる設備と品質状態を一元監視できるシステムとして、監視モニターを開発して異常の見える化をした。さらに、試作品をインラインで連続測定できるエックス線測定装置を開発した結果、金属も複合したホースの内外径が確実に計測できるようになった。また、補強設備においては、第 4 層目を使用する巻付機の改良研究を追加投資して重点的に実施した結果、ピッチが高精度で安定して巻き上げることができ、試作品の諸特性向上に繋がった。

精密加工の研究開発としては、26 年度から継続して、当該製品の根幹となる第 1 層目のチューブ精度向上のため、ギアポンプ（以下「GP」）の入口樹脂圧力を一定に制御することに加えて、本年度はチューブ外径測定情報を GP にフィードバックして自動制御できるようにした。その結果、チューブ寸法を目的とする基準値に自動収束することができた。また、1 層の精度が製品精度に大きく寄与することもエックス線測定装置による測定で実証できた。第 2 層目の補強工程では、従来、ノギスによる人的測定検査では、見落とされることもあったピッチ異常も、確実に自動検出を可能とし、27～28 年度では、26 年度の研究成果を盛り込んだ新 NTS 編機（補助対象外）を導入して、編上げ精度も安定、ピッチ公差の目標を達成することができた。さらに、第 4 層目の線材補強工程においても、締付機の追加改良により張力の自動制御が安定し、目標を達成することができた。

また、2工程の連結により、層間密着度も強化され、その1要因と考えた架橋反応においては、新潟大学、材料メーカーの協力下で、分子レベルで化学的に証明できた。

残留する課題として、社内では全サイズでの精度検証、歩留まりの測定が残った。また、精密化したことによる諸特性向上の成果は、現場モニターにおいて評価していく。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

(1) 事業管理者

法人名 : 公益財団法人富山県新世紀産業機構
(代表者 理事長 寺林 敏)
住 所 : 〒930-0866 富山県富山市高田529番地
連絡担当者、所属役職名 : 角崎 雅博 産学官連携推進センター部長
TEL : (076)444-5636 FAX : (076)444-5630
e-mail : kado@tonio.or.jp

(2) 総括研究代表者

氏 名 : 森岡 政幸
組織名 : 株式会社トヨックス
所属役職名 : 生産技術部 顧問
TEL : (0765)54-2317 FAX : (0765)54-2277
e-mail : morioka@toyox.co.jp

(3) 副総括研究代表者

氏 名 : 宮島 義男
組織名 : 株式会社中西電気
所属役職名 : 配電盤事業部 部長
TEL : (0765)54-5885 FAX : (0765)54-5895
e-mail : haiden@nakanishi-denki.co.jp

(4) 研究実施者

研究実施機関	代表者役職 氏名	連絡先
株式会社トヨックス	代表取締役 中西 誠	〒938-8585 富山県黒部市前沢 4371 TEL : (0765)54-2317 FAX : (0765)54-2277
株式会社中西電気	代表取締役 中西 栄二	〒938-8585 富山県黒部市前沢 2421 TEL : (0765)54-5885 FAX : (0765)54-5895

富山県工業技術センター	所長 鳥山 素弘	〒933-0981 富山県高岡市二上町 150 TEL：(0766)21-2121 FAX：(0766)21-2402
-------------	-------------	--

第2章 本論

(1) 補助事業の具体的研究内容

1 チューブ押出工程による一定寸法・肉厚押出制御技術の確立

1-1 押出機の低水温温調制御技術の開発

低水温で押出機シリンダーの温調制御が可能となる押出装置を開発した。その結果、 $\pm 3^{\circ}\text{C}$ 範囲での加硫制御を可能とし、従来の地下水による強制冷却設備では不可能だった、シリコン樹脂の適正加硫状態をコントロールすることができ、外径寸法の変動も緩和できて品質の安定化を図った。

1-2 ホースチューブの寸法・肉厚自動制御技術の開発。

その1) 1層チューブは柔らかく、楕円形に変形しやすいため図1-1のとおり外径測定装置前にガイドを設けて真円矯正し、図1-2のXY測定の平均値で精度を高めた。また、図1-3はその測定モニター画面である。



図 1-1 楕円矯正ガイド

図 1-2 レーザーXY 外径測

図 1-3 外径測定モニター

その2) ホースの肉厚を測定するために、図1-4のとおり超音波利用による肉厚測定実験装置で測定を検討したが、導入口での水膜形成が困難であり、かつ価格も合わないと判断してこの研究開発は中止した。



図 1-4 超音波肉厚測定装置 実験写真

その3) 寸法・肉厚制御技術の開発

インライン上では測定不可能な肉厚（内径）に関して、吐出量と外径が高精度で加工制御できれば、相関して内径も同レベルで保証できることを実証する実験をおこなった。

図 1-5 のとおり、定量吐出 GP を押出機 A と金型 B 間に設置し、GP 入口の樹脂圧力が一定となるように押出機の回転制御開発した結果、下図 1-6 に示すとおり吐出量のバラツキは改善した。

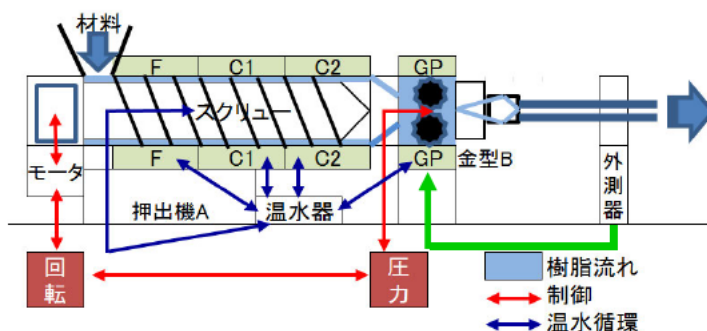


図 1-5 【H26～H27 年度】 押出機温調制御と GP 入口圧力制御（押出機回転） →
【H28 年度】 外径測定器情報から GP 回転制御 →

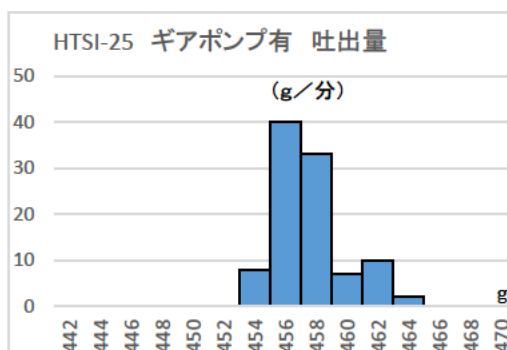
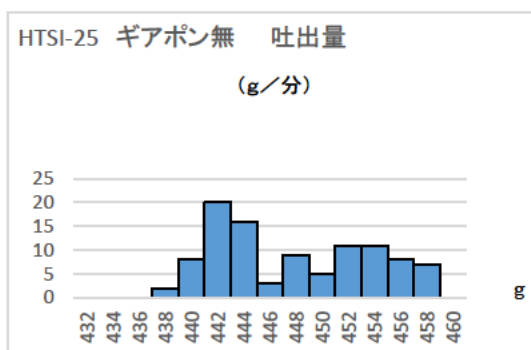


図 1-6 GP 効果検証 吐出量ヒストグラム

更に、狙いのチューブ寸法へ自動的に修正するために、外径測定器の情報を GP 回転へフィードバック制御した。これにより、図 1-7 に示すとおり、変動要因（回転数を強制的に上げる）に対してもチューブ外径基準値の公差に近似して安定収束する制御ができた。このときに、チューブの内径は外径に連動していることも、サンプルを実測定したことで、図 1-8（ヒストグラム）にあるように実証できた。

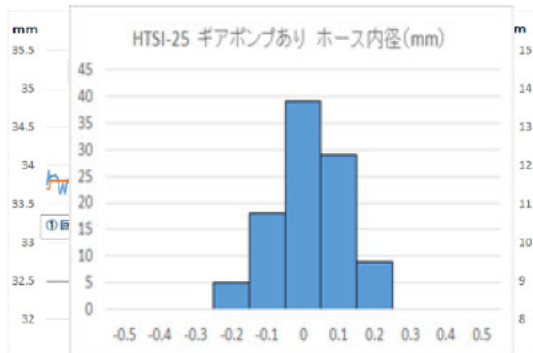


図 1-7 GP の回転制御効果

図 1-8 外径に連動した内径

（実施体制：株式会社 トヨックス、株式会社 中西電気）

2 補強工程によるピッチ安定とピッチ測定技術の確立

2-1 NTS 編上げピッチ安定化技術の開発

編上げが不安定になる要因である、「針の糸引掛けミス」と「針折れトラブル」を解消するために、図 2-1、2-2 のとおり糸道ガイドとカム回転軸両端にベアリングを設置した。これにより糸道軌道と編み針の挙動は安定し、不良発生は根絶した。

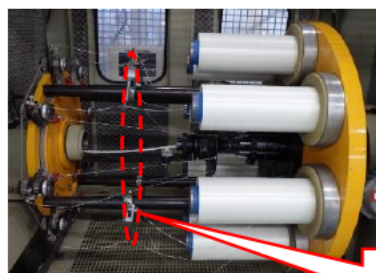


図 2-1 編上機 内部

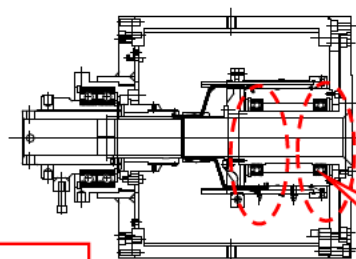


図 2-2 カム構造図

ベアリング

2-2 NTS 編上げのピッチ測定技術の開発

図 2-3、2-4 のとおり、4 点カメラによるホース全方位で編目ピッチ寸法を自動読み取りできるモニター装置の開発をした。



図 2-3 4 点カメラ

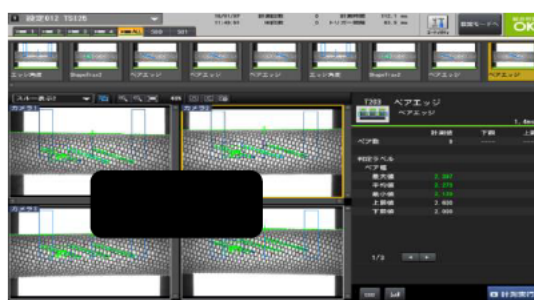


図 2-4 モニター装置 写真

さらに、図 2-5、2-6 のとおり透明ホースでも編上げピッチ 1 個単位で測定ができるよう、透過照明に改善することで、検査方法を従来測定方法（手作業）から、インラインでの自動検査方法に変更し、ピッチ一個単位の全周自動実測ができるようになり NG 品が確実に摘出できるようになった。



図 2-5 カメラ透過照明

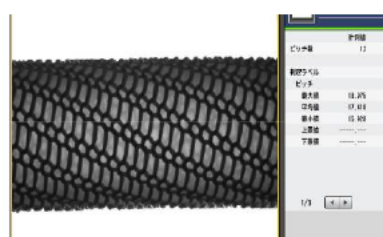


図 2-6 透明ホースピッチ測定

28 年度には、2-1 の成果を活かして新 NTS 設備（補助対象外）を導入、本機を編みピッチ測定器情報から回転制御することで、公差目標の達成を検証できた。下に示す図 2-7 はその測定結果（ $3 \pm 0.1\text{mm}$ 以下に収束）である。

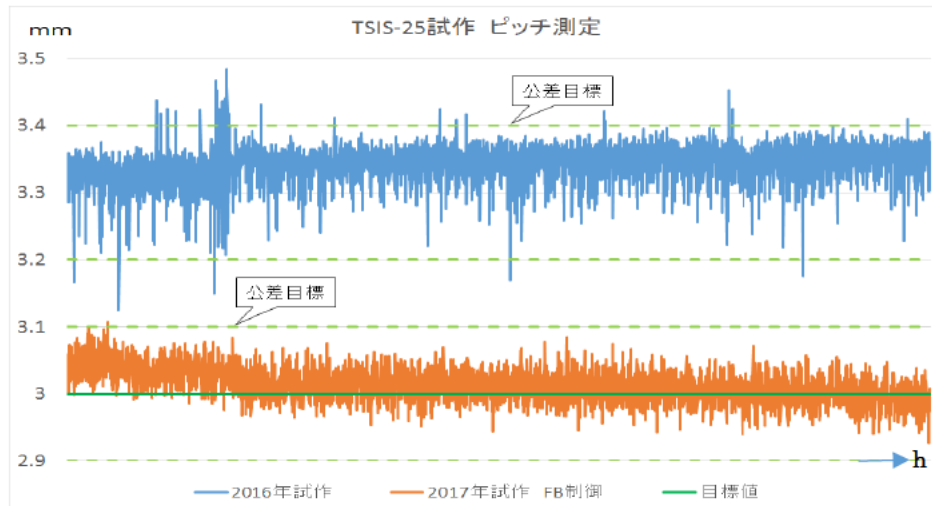


図 2-7 新 NTS 機の制御効果

(実施体制：株式会社 トヨックス)

3 締付け工程による、締付け張力に応答したボビン回転トルク制御技術の確立

27 年度は、ホースの曲率半径を最小化するため、締付機の開発を行った。

ホースに線材を巻付けるとき、凸凹になるのを避けるため、線材をローラーでコイル形状にしながらホースを通過させる。そのときに、線材を一定量で送り出す制御が必要になるが、図 3-1 のように、送りローラーの回転とボビンブレーキでピッチおよびホースにかかる張力が一定になるよう制御試作を行った。しかし、ボビンに巻かれた線材が減少する程、コイル成形部にかかる負担が大きく、本制御では対応不可能と判断し、図 3-2 に示すように、ボビン回転補助モータ取付け、残存線材に応じたボビン回転制御などの改造を行った。それにより、線材ピッチおよびホースにかかる張力は安定し、ホース内面は平滑になった。図 3-3、3-4 は、線材ピッチ測定カメラとそのモニターで、図 3-5 はその測定結果で、目標を達成した。

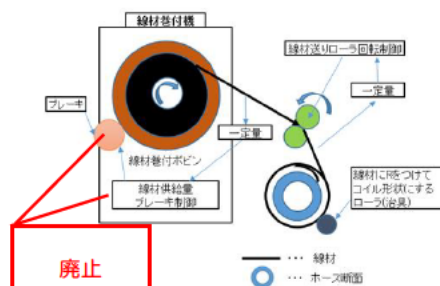


図 3-1 線材締付機改造部位 (廃止)

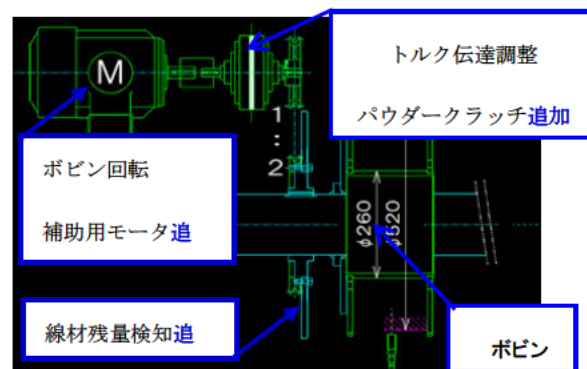


図 3-2 線材締付機改造部分

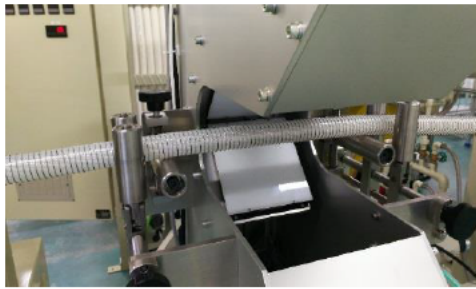


図 3-3 線材ピッチ測定カメラ

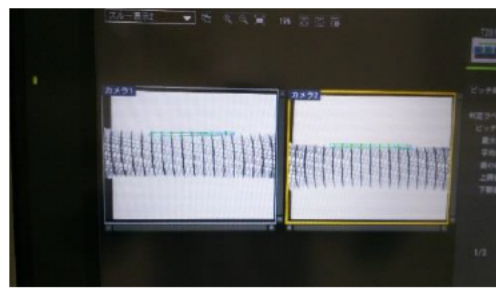


図 3-4 線材ピッチ測定モニター画面

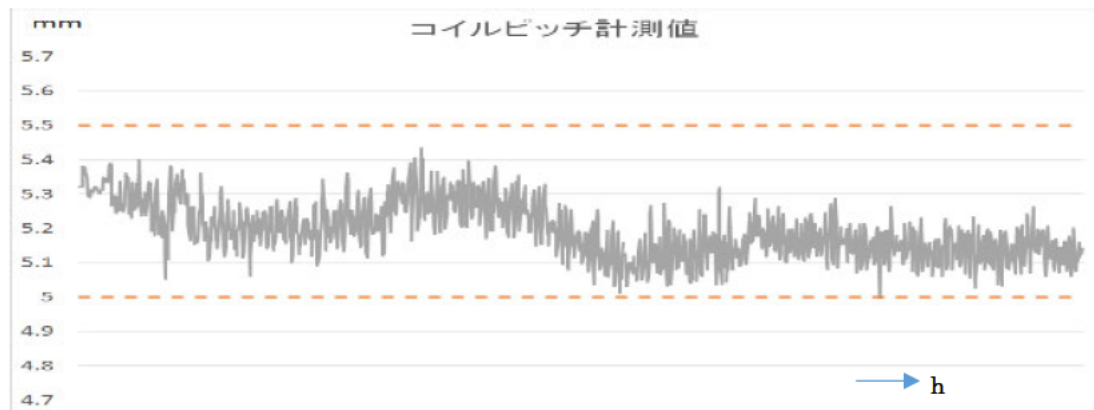


図 3-5 安定したピッチデータ ($\pm 0.25\text{mm}$)

(実施体制：株式会社 トヨックス)

4 設備運転条件・品質状態の監視、及び設備へのフィードバック技術の確立

各設備機器をイーサネット通信可能な仕様として、品質・設備運転データを監視モニターに通信、一元監視できるようにした。その機能としては、適正条件範囲設定して実測値表示及び異常予告発信を可能にした。更に監視モニターからの各設備へのフィードバックにおいては、各々層での測定情報から設備へローカルフィードバック制御したほうが時差も少なく（即答）効果的であった。以下に導入したローカル制御を列挙する。

【第1層目】 入口樹脂圧情報 ⇒ 押出機回転制御（実施済み）

外径測定情報 ⇒ GPの回転制御（実施済み）

【第2層目】 ピッチ測定情報 ⇒ NTS 機回転制御（実施済み）

【第3層目】 外径測定情報 ⇒ 押出機回転制御（対応済み）

【第4層目】ピッチ測定情報 ⇒ 締付機回転制御（対応済み）

【第5層目】外径測定情報 ⇒ 押出機回転制御（対応済み）

図4-1は監視モニターにより、基準からNG（不良品）となる前に、2段階において予備警告するようにしたもので、川下流出の歯止めとした。

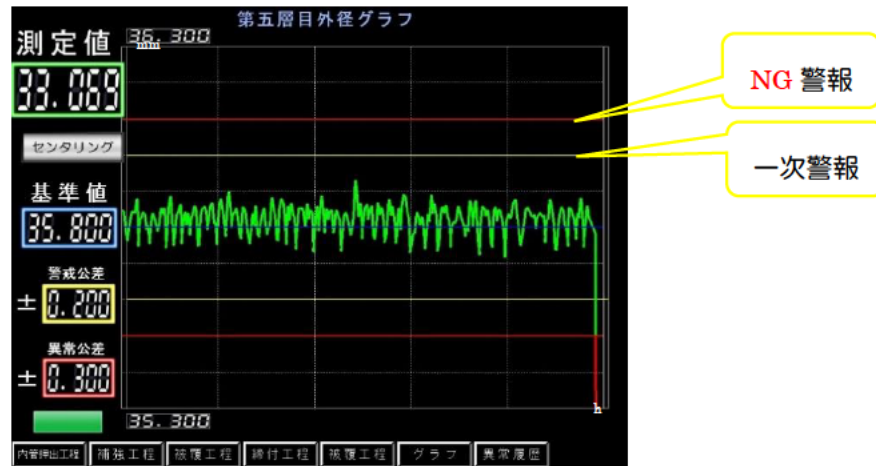


図 4-1 監視モニターによる製品外径グラフ

（実施体制：株式会社 トヨックス、株式会社 中西電気）

5 二工程の複合一体成形化による製品の高精度化及び高効率化技術の確立

5層ホースの高精度化・品質向上・生産効率化を図るために、第一工程（1層目～3層目）と第二工程（4層目～5層目）に分割していた工程を合体して一体成形ラインとした。また、高精度・高品質を連続で保証するためのフィードバックは図5-1のように実施した。

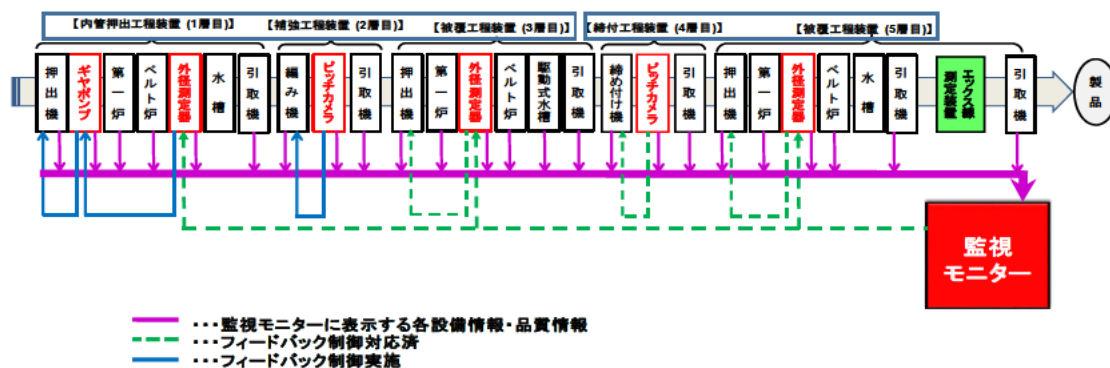


図 5-1 精密5層一体成形ラインの制御図

これにより、25φホースにおいて、5層一体成形の試作を実施した結果、1・3・5各層でのバラツキ変動幅は、層が増すごとに少なくなり、最終製品での公差は目標に到達した。図5－2は層別バラツキ変動比較で、図5－3は現行品と一体成形試作品の内径・外径・肉厚の比較ヒストグラムである。

フィードバックにおいては、第1層におけるローカル制御の効果が大きく、第3・5層の制御なくして製品の目標精度に繋がった。

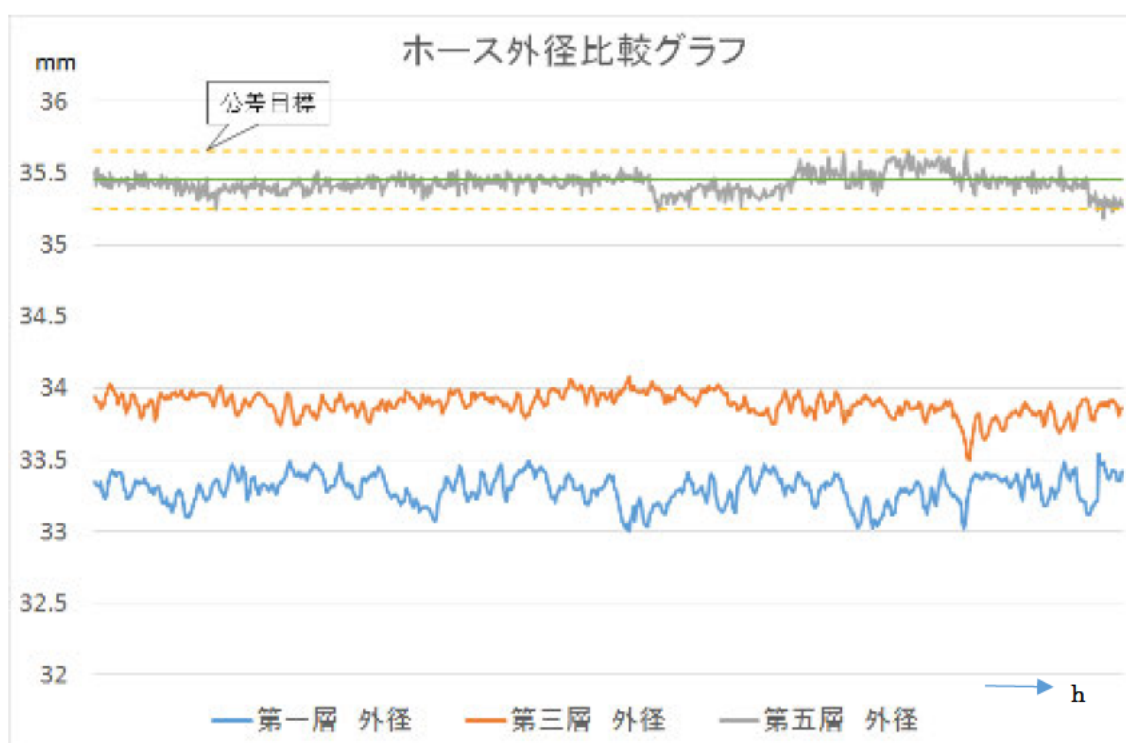
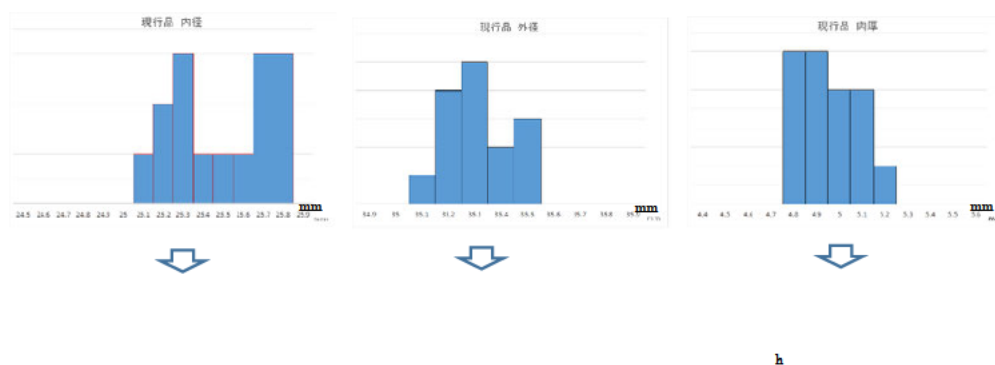


図5-2 1・3・5層外径変動グラフ



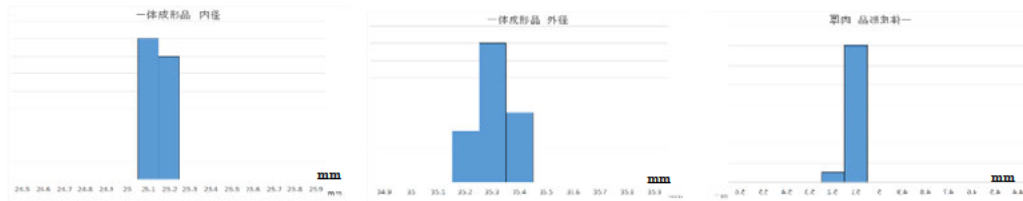


図 5-3 現行品と試作品（一体成形品）の内径・外径・肉厚比較ヒストグラム

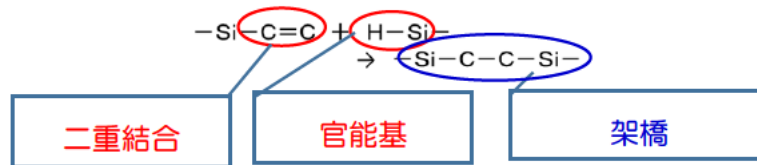


図 5-4 加硫に係わる分子成分

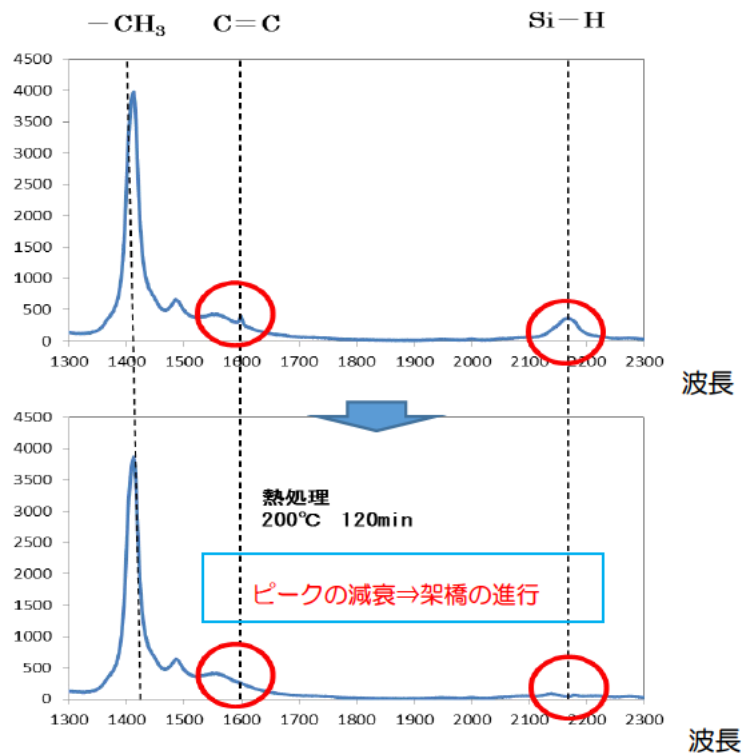


図 5-5 スペクトル値の減少を評価

また、架橋反応に係わる残存分子成分（上図5－4）の同定を行うことで、加硫密着機構を解明する研究を行った（図5－5：ラマンスペクトル分光法により分析）。具体的には、二重結合と官能基の減衰を時系列で捉えることで架橋の進行状態を評価した。すなわち、この分析を異なる製法（分割・連続）による比較シミュレーションすることにより、密着度の向上を化学的に証明した。

6 寸法の高精度化を保証するエックス線測定技術の確立

1) 目的と概要

最終年度までに開発される耐熱機能性ホースは、シリコーンゴム、ポリエステル、特殊樹脂、ステンレスワイヤーなど、異なる材質の多層構造であるため、最終製品の高精度化を保証することが容易でなく、エックス線を用いた測定技術が有力と考えられる。27 年度までに、28 年度に導入予定のインラインで使用するエックス線測定装置について、発生する技術上の問題点の整理と計測する項目、基本仕様の検討を行った。28 年度は、導入されたインラインエックス線測定装置の導入と基本性能の確認および本事業で構築した精密一体成形ラインにおける試作工程での活用を行った。

2) 実験方法

27 年度には、市販のエックス線肉厚測定器では、オール樹脂構造ホースにおいては問題ないが、SUS コイル入りホースに関しては、内外径測定に影響をもたらす箇所が出現することを当センター所有の大型エックス線CTを用いて実験的に予測した。このため、装置メーカーとの間で計測ソフトの改良、測定周期の確保(通常3Hzを10Hzに改良)、X軸、Y軸の2方向測定を基本とすることで、すべての構造のホースについて、内径、外径、肉厚のインライン測定が可能となる見通しを得た。ピッチ測定については、前工程である締付け工程におけるピッチカメラデータを活用し、効率化を図ることとした。

今年度の実験項目としては、

① 装置の導入と各種構造の耐熱機能性ホースでの動作確認

既存工程で作製された3種類の構造の耐熱機能性ホースを用いて、トヨックスで構築している精密一体成形ラインに導入して、動作確認を実施。特に、SUS コイル入りホースでも支障なく測定できるか動作確認を行った。

② 測定精度の検証

実際のホース形状における測定精度を確認するため、限りなく真円に近い樹脂パイプを加工し、あらかじめ3次元測定器により精密測定後、導入したインライ

ンエックス線測定装置による測定データと比較した。

③ 試作工程での活用と有効性の評価

トヨックスで新たに構築した精密一体成形ラインにおけるインライン測定を約160mに渡り行い、試作品の評価と装置の有用性を確認した。

3) 結果

① 装置の導入と各種構造の耐熱機能性ホースでの動作確認

導入した装置の概観を図6-1に示す。

装置は、5層目被覆工程終了後の製品の品質保証に利用できるよう配置されている。

また、図6-2は、既存ホースにおける測定表示例と測定プロファイルの例である。内径・外径・総肉厚をX軸、Y軸の2軸測定とし、長さ方向にも計測・記録



図6-1 インラインエックス線測定装置の概観

することで3次元的な測定に対応している。あらかじめ設定した規格値を設定することで、エラー表示と警告を発することができる。

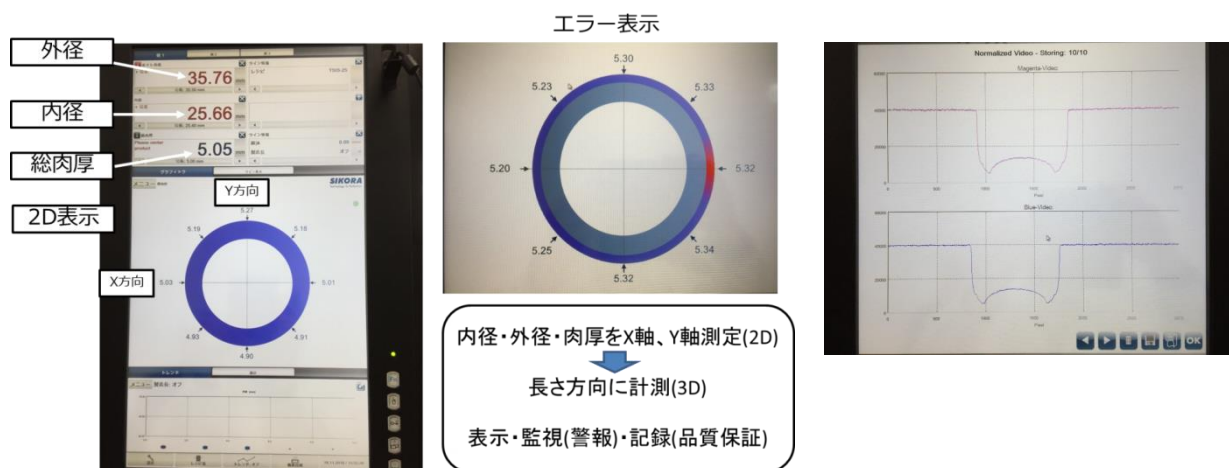


図6-2 測定項目の表示例と測定プロファイル例

図6-3および6-4は、従来工程で作製した樹脂ホース(TSI-25φ 3層構造および HTSI-25φ 5層構造 樹脂ワイヤー)のインラインエックス線測定例である。各計測値は、X軸およびY軸の平均値で示した。いずれの場合も支障なく、ホース

全長に渡り内径・外径・肉厚が計測されている。いずれも既存製品の従来交差内ではあるが、TSI-25φ の例では、内径が小さく、結果的に目標肉厚がわずかに大きくなっており、HTSI-25φ の例では、内径、外径ともわずかに小さく、肉厚がほぼ目標肉厚通りとなっていることがわかる。

図6-5に SUS 入りホース(TSI-25φ 5層構造 SUS ワイヤー)のインラインエックス線測定例を示す。SUS コイルにより周期的に発生するエラーをソフト上の改良で、SUS コイル入りホースであっても内径・外径・肉厚のインラインエックス線測定ができていることを確認した。

② 測定精度の検証

樹脂パイプの寸法測定結果の3次元測定器とインラインX線測定器の比較した結果、インライン測定器の方が、わずかに小さな計測値となる傾向あった。ただし、3次元測定器との差は、数十ミクロンオーダーであり、生産管理上は全く支障ない範囲であった。

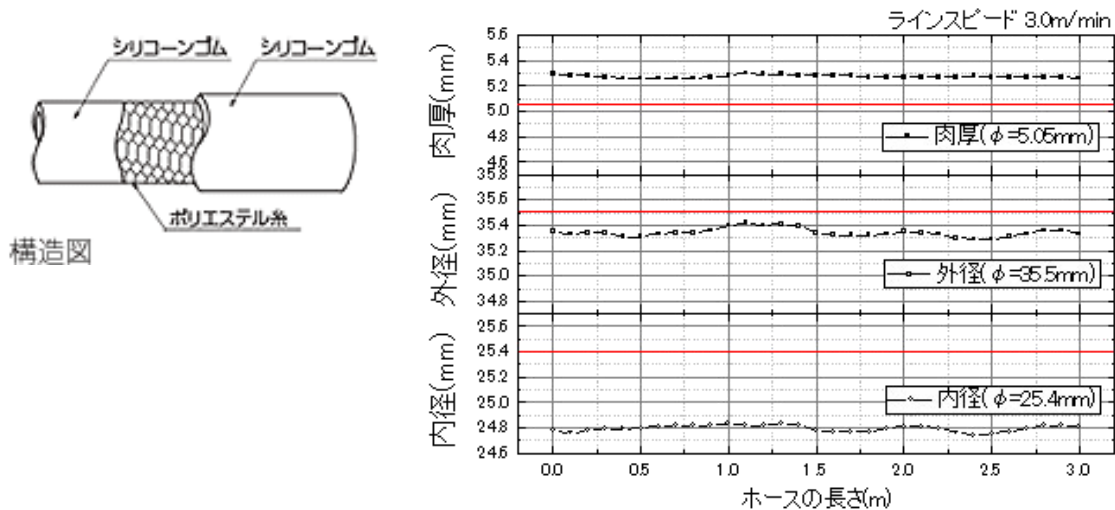


図 6-3 樹脂ホース(TSI-25φ 3層構造)のインラインエックス線測定例

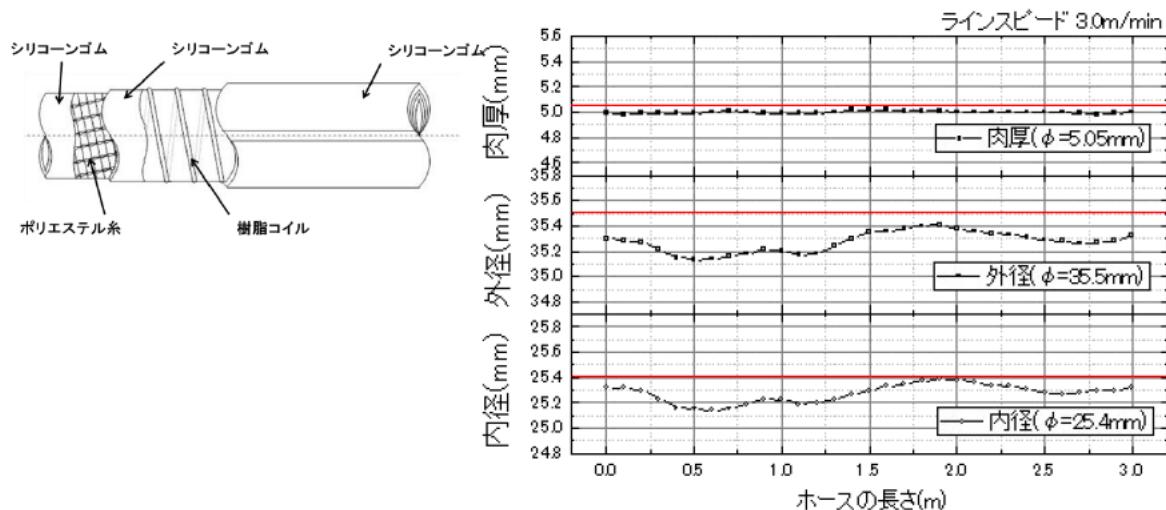


図 6-4 樹脂ホース(HTSI-25φ 5層構造 樹脂ワイヤー)のインラインエックス線

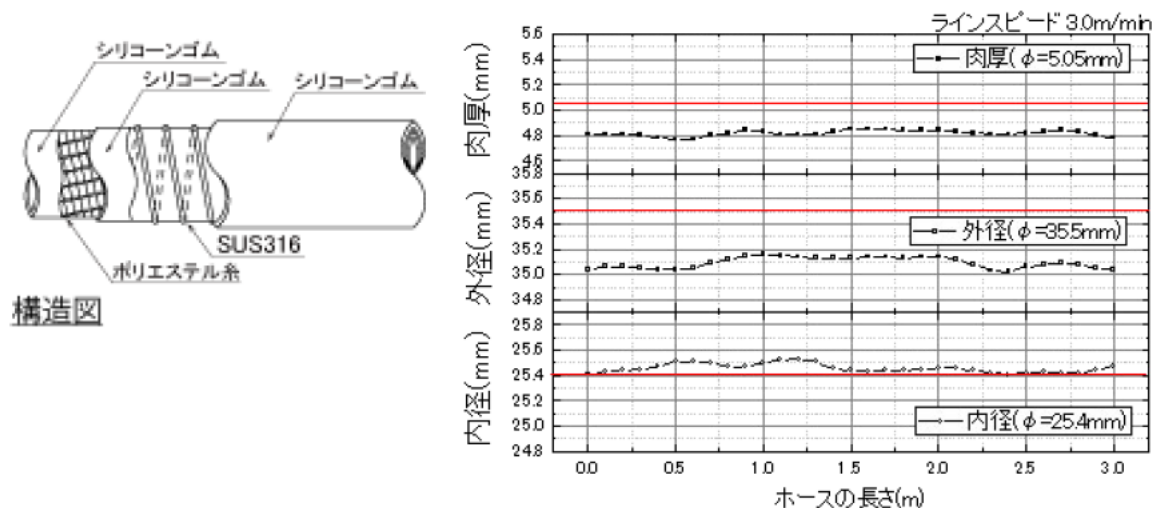


図 6-5 SUS 入りホース(TSIS-25φ 5層構造 SUS ワイヤー)のインラインエックス線測定例

③ 試作工程での活用と有効性の評価

2工程を連結した連続工程(本サポイン事業)で、TSIS-25φ(5層構造 SUS ワイヤー)を対象に約 160m、ラインスピード 2.9m/min で試作をした。

その加工途中で、強制的な外乱(人為的に4層目コイル締め付け張力の変化)を与えても、寸法は目標とする基準値に自動収束し、25φの目標公差(内径・外径ともに±0.4 mm)以内であることも計測確認できた。

(実施体制：富山県工業技術センター・株式会社 トヨックス)

（２）本事業の研究成果

１ チューブ押出工程による一定寸法・肉厚押出制御技術の確立

１－１

押出機シリンダーの低水温による一定温調制御は、26 年度に完了した。目標とした $\pm 3^{\circ}\text{C}$ 範囲での温調制御が可能となり、従来の地下水による強制冷却設備では不可能だった、シリコン樹脂の加硫状態をコントロールすることができ、外径寸法の変動も緩和して品質の安定化を図った。

１－２

外径測定装置に関しては 26 年度に完了しており、楕円状態のチューブをガイドで真円補正し、XY 測定の平均値で管理することができた。

また、寸法・肉厚制御技術の開発では、押出機の吐出量と外径測定値及び内径も高精度で保証する技術開発に取り組んだ。具体的には、GP 入口樹脂圧を 5Mp に一定制御することで、吐出量は安定した。しかしながら、これだけでは基準とする寸法が常に安定して保証することができないため、外径測定器の情報を GP の回転にフィードバック制御した。これにより、チューブ外径公差の目標であった $\pm 0.1\text{mm}$ が $\pm 0.2\text{mm}$ まで、環境の変化に左右されず収束できた。

この結果が、製品内径 25φホースにおいては、他の樹脂層（3・5層）の制御がなくても製品寸法のバラツキは、目標 0.4 mm 以下に抑えることができ、内径においても連動して目標をクリアしたことが、測定ジグによる実測とインラインエックス線測定により実証できた。

２ 補強工程によるピッチ安定とピッチ測定技術の確立

２－１

NTS 編上げピッチの安定化技術については、ピッチ異常を誘発する要素となる「針の糸引掛けミス」と「針折れトラブル」の防止策として、糸道ガイドとカム回転軸のブレ防止改善（ベアリング追加）をした。結果は「針折れ・ピッチ異常・糸の引っ掛けミス」トラブルは皆無となり、目標としたピッチ異常不良率 0.05%は達成した。このノウハウを活かして新規 NTS（補助対象外）を試作ラインに導入した。

２－２

ピッチの測定に関しては、カメラ撮影した情報をモニター装置に集積した。具体的にはホース断面から見て、上下左右の4箇所を連続撮影し、測定部における情報をリアルタイムに収集して、ピッチの最大・最小・平均・上下限の設定をモニター画面に表示及び異常警告発信と保存ができるようにした。

また、測定精度においては、4点で被写体の反対側から透過させることで、透明ホースでも全方位、網目一個単位で測定できるようになり、目標としたホース全周での連続測定が可能になった。これにより、手作業による全数検査にかかる作業人件費も大幅に削減でき、しかも異常品も確実に発見できることから、川下への不良流出を100%防止できた。

さらに、新規 NTS をピッチ測定器と連動させて、ピッチ一個単位で基準値に自動補正ができるようにしたことで、連続で NTS ピッチ公差目標 $\pm 0.1\text{mm}$ が達成できた。

この研究成果が川下現場において、期待される物性評価をした結果が図2-1になる。高温（90℃）での外形変化率（内圧による外形変化率）が小さくなり改善効果が挙げられる。これについては、今後の現場モニターにおいてメリットを検証していく。また、耐圧においては NTS 精度のほか、一体成形による密着度の影響もあることから、テーマ5で評価した。

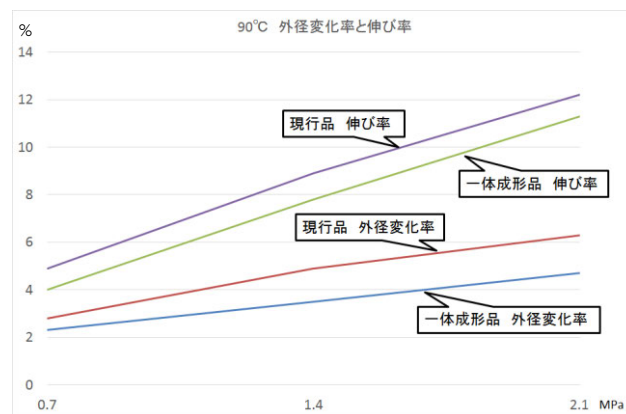


図 2-1 外径変化率と伸率の現行・試作品比較

3 締付け工程による、締付け張力に応答したボビン回転トルク制御技術の確立

ホースに線材を巻付けるとき、凸凹を避けるため、極力応力がかからないように、線材をR加工し、線材送りローラーの回転とボビンプレーキでピッチ・張力の安定制御を

試したが、ボビンに巻かれた線材が少なくなる程、コイル成形部にかかる負担が大きくなったため、既存のブレーキ制御を廃止、ボビン回転補助モータ取付け、制御ソフト変更などの改造を重点的に行い、また、カメラによるピッチ測定も可能とした。その結果、ピッチのバラツキは $\pm 0.25\text{mm}$ に収まり、公差目標とした $\pm 0.5\%$ まで達成できた。曲げRの評価においても25 ϕ 試作品において190mm以下を実現し、ホース内面も平滑な試作品ができた。

4 設備運転条件・品質状態の監視、及び設備へのフィードバック技術の確立

各設備機器の計測データを監視モニターで一元管理して、実測値が適正条件範囲を超える前に異常予告発信と自動修正を可能とするフィードバック対応を重点的に実施した。その結果、作業者による調整負担の軽減はもとより、異常品の流出や再検査などはなくなり、追跡調査も可能なことから顧客の信頼に大きく繋がった。

5 二工程の複合一体成形化による製品の高精度化及び高効率化技術の確立

分割された二工程を連結し、試作5層一体成形ラインでの試作を実施した。特に、製品の精度が目標に到達するための、各層の設備運転条件と各層別バラツキを収束させるべくローカルフィードバック制御対応を重点的に実施した。

その結果、25 ϕ 製品において寸法公差は目標の $\pm 0.4\text{mm}$ をクリアでき、金具に高精度でマッチングすることで締め付けトルクも安定した。今後は他サイズでの目標達成を検証していくと共に、歩留まりの効果も検証する。

この研究成果の機能性効果として、金具付きホースの耐圧強度測定試験においては、20%までホース内圧力が増加しても、水漏れ・抜け等が解消（破壊する）され、層間の剥離強度測定試験においては15%強度が改善された。今後は現場モニターで川下現場における実際効果を検証していく。

6 寸法の高精度化を保証するエックス線測定技術の確立

- 1) 導入されたインラインエックス線測定装置を用いて、樹脂ホースおよびSUSコイルホースにおける内外径測定の基本性能を検証した。樹脂ホースだけでなく、SUSコイルホースでも、インラインによる寸法測定は支障なく可能であった。その特徴は、次のとおり。

- ① 内径・外径・肉厚をX軸、Y軸測定し、長さ方向に計測(3D)
- ② 表示・監視(警報)・記録(品質保証)できるインライン計測システム

2) 樹脂パイプの3次元測定器とインラインエックス線測定器の比較した結果、インライン測定器の方が、わずかに小さな計測値となる傾向であった。ただし、生産管理上は全く支障ない。

3) 2工程連結した連続工程(サポイン)での試作データを取得した結果、試作過程での製品寸法をリアルタイムで評価でき、しかも目標交差に合致していることもわかった。今後、試作段階のデータの集積・解析と製品評価を継続することで、品質保証面での事業化展開に貢献できる。

4) 目標の達成度について

当初、3次元測定により鋼線ピッチmm、製品肉厚・内外径mmの測定可能を目標とした。ピッチ測定については、前工程である締付け工程で測定することで効率的に達成した。また、製品肉厚・内外径については、インラインエックス線測定技術を最終工程に適用することで達成した。このように本研究項目の目標は100%達成した。

最終章 全体総括

本事業は設備開発が多く納期が厳しかった。さらに、生産設備を停止代用しながらの試作であったため、全サイズの試作はかなわず、中間サイズの25φに絞り込んで実験した。

今後は、25φでの試作方法を全サイズに横展開して、寸法精度の高度化検証、歩留まりの効果測定、川下企業で本試作品の諸特性効果を実検証していく。

本事業において、最も効果が在ったのは、複合化された高機能性を有するフレキシブルなホースにおいて、全ての切断面で寸法精度が保証されたことにある。

これにより、少子高齢化の昨今、だれでも簡単に施工でき、流路抵抗のない省エネで、且つ、耐震性に優れた配管として、現場における改善活動に大いに貢献できると確信している。

また、本事業で高度化された設備・加工技術に関しては、更なる高機能性を保有する商品開発にノウハウ活用して、食品以外の他業界へ安全・安心樹脂配管による改善活動に役立て

たい。