

平成 22 年度 戦略的基盤技術高度化支援事業  
「走行系表面コーティング技術の性能向上に資する小型高性能  
歪センサを用いた張力制御システムの開発」

研究開発成果等報告書

平成 23 年 3 月

委託者 近畿経済産業局

委託先 財団法人関西環境管理技術センター

## 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	3
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
(1)	小型高性能歪センサの開発	9
1.1	Cr-Si-C系複合材料を用いた小型高性能歪センサの開発	9
(2)	シャフト内蔵型センサモジュールを用いたセンサロールの開発	12
2.1	シャフト内蔵型センサモジュールの開発	12
(3)	自律式フィルム位置決め制御システムの開発	21
3.1	センサロールを用いた張力制御システムの検証	21
第3章	全体総括	29
3-1	研究開発成果	29
3-2	研究開発後の課題・事業化展開	30

## 第1章 研究開発の概要

フラットパネルディスプレイや薄膜系太陽電池の主部材である高機能フィルムの製造装置において、小型高性能歪センサによるリアルタイムかつ精密な張力分布情報の計測制御、組込システム・ソフトウェア技術の利用による張力制御の多角的・高速処理を実現するインテリジェント機能を備えた次世代ロールコータ制御システムを開発する。本開発によりフィルム基材の更なる薄型化と生産性向上が達成され、材料資源の大幅な削減と環境負荷低減に寄与することを目指し、

小型高性能歪センサの開発

シャフト内蔵型センサモジュールを用いた高精度張力検出システムの開発

自律式フィルム位置決め制御システムの開発

に取り組んだ。

### 1 - 1 研究開発の背景・研究目的及び目標

近年、フラットパネルディスプレイや薄膜系太陽電池等の高機能・超薄厚フィルム材料の世界的な需要ニーズ拡大に伴い、これらを取り扱うフィルムベースエレクトロニクス技術が大きな注目を浴び、各社メーカーは相次いで生産能力の増強と新技術開発を図っている。

各製造メーカーでは、超薄厚フィルム表面上に高機能薄膜を形成する高次のロール to ロール制御を備えた走行系コータ装置の開発を最重要課題の一つと位置付けており、ロール走行時のフィルムに作用する張力(Tension)情報を直接且つリアルタイムに反映した高精度なフィルム位置決め制御を実現し、シワ寄りや傷等の加工不良発生を効果的に抑止して高品質・生産性向上を実現する新たなロール制御システムの確立を急務としている。

しかしながら、これらの要求を満たす制御技術は未だ確立しておらず、フィルム交換時の段取り変更や初期調整作業に膨大な工数を要する等、品質不安定や生産効率の悪化を招いている。加えて、センサ部に関しても、種々の技術的課題を内包しており、これらの課題を解決し、時々刻々と変化するフィルム走行状態に応じた位置決め制御システムの高度化が強く求められている。

そこで、本研究開発では、高機能・薄型フィルム製造に係る制御方法に関し、従来技術では達成不可能な

高速走行 : 従来装置の max5 倍高速処理

品質安定性の向上 : 張力変動誤差  $\pm 1\%$  以下、不良発生頻度 0.0001% 以下  
を実現することを目的とし、開発する。

具体的な研究開発として、

反応性スパッタリングを用いた薄膜形成技術により、小型(3.0\*5.0\*0.5mm)、高感度(ゲージ感度 5 倍)、高速応答性(10  $\mu$  sec)を備えた高性能歪センサ

ロールシャフトに高性能歪センサを内蔵した組込モジュール構造で、フィルム走行時の張力分布情報の並列的・リアルタイムな情報処理(制御応答性 1msec)と、緻密な張力監視を実現する「高精度張力検出システム(以下、「センサロール」という。)」

装置自身がフィルム走行状態を自己判断するインテリジェント機能を備えることで、各制御ユニットの連携による協調動作・相互監視(複数台のアクチュエータを同時制御)を可能とする張力制御システム

からなる新技術コンセプト『次世代・組込製造装置』を開発することによって、高機能フィルム製品の品質確保と生産効率向上の両立、ベースフィルムの超薄型化を達成し、製造コストの低減と安定供給による普及促進に寄与することを目指す。

上記の本研究開発の目的及び目標に向けて取り組んだ研究の実施内容は次のとおりである。

(1) 小型高性能歪センサの開発

Cr-Si-C 系複合薄膜材料及び反応性スパッタリングによる薄膜形成技術を活用した小型高性能歪センサを設計・試作開発した。

(2) シャフト内蔵型センサモジュールを用いたサロールの開発

ロールシャフトの内部に小型高性能歪センサを内蔵した組込モジュール構造を備えるセンサロール及びテンションコントローラを新規開発した。

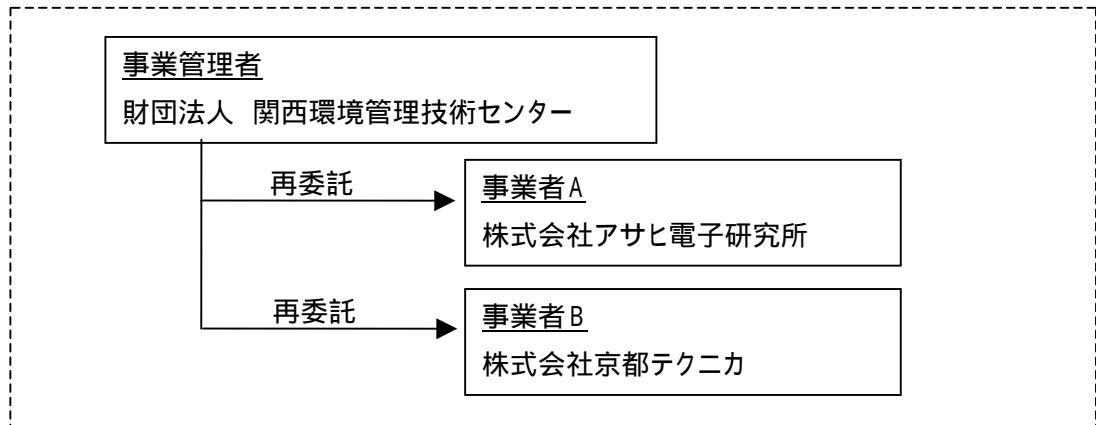
(3) 自律式フィルム位置決め制御システムの開発

センサロールを搭載したロールコータ装置試作機を新規開発し、走行系製造装置への応用展開に向けた計測制御系の実用検証を行った。

## 1 - 2 研究体制

### (1) 研究組織及び管理体制

#### 1) 研究組織(全体)



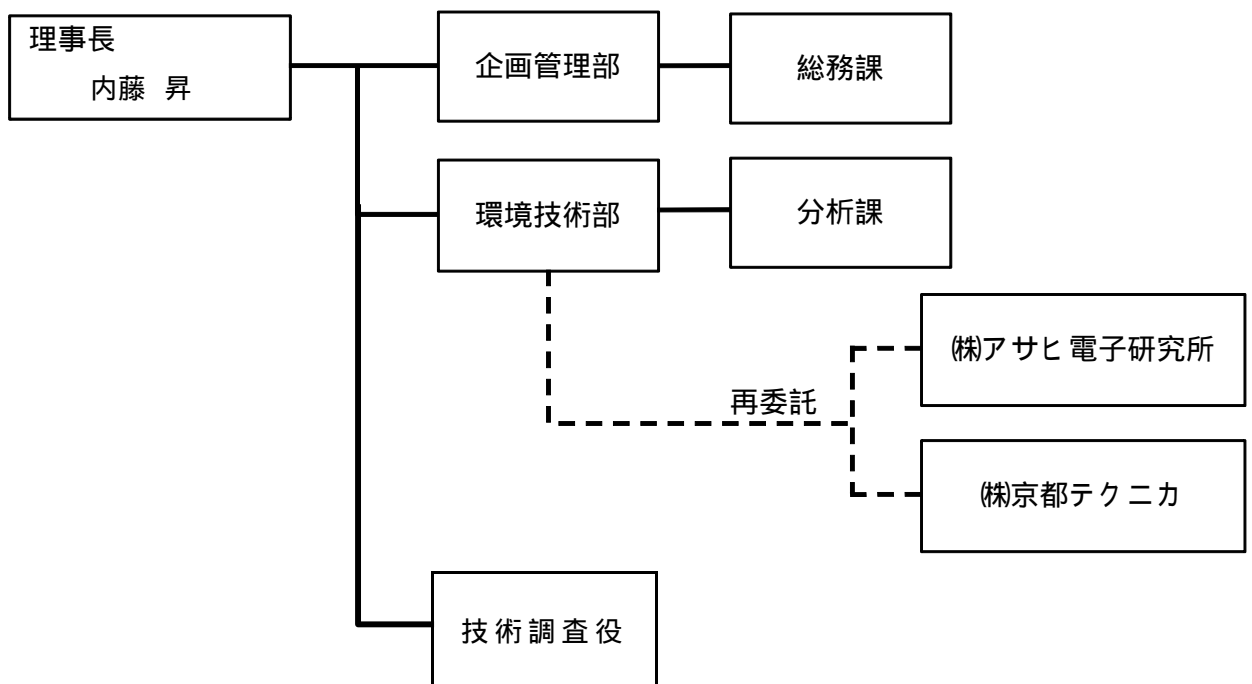
総括研究代表者(PL)  
所属:株式会社 アサヒ電子研究所  
役職:代表取締役  
氏名:和倉 慎治

副総括研究代表者(SL)  
所属:株式会社 アサヒ電子研究所  
役職:技術開発部 マネージャー  
氏名:玉置 肇

#### 2) 管理体制

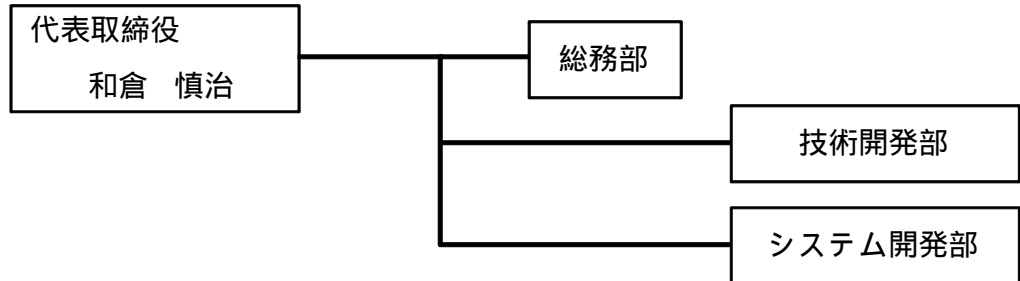
##### 事業管理者

##### 財団法人 関西環境管理技術センター

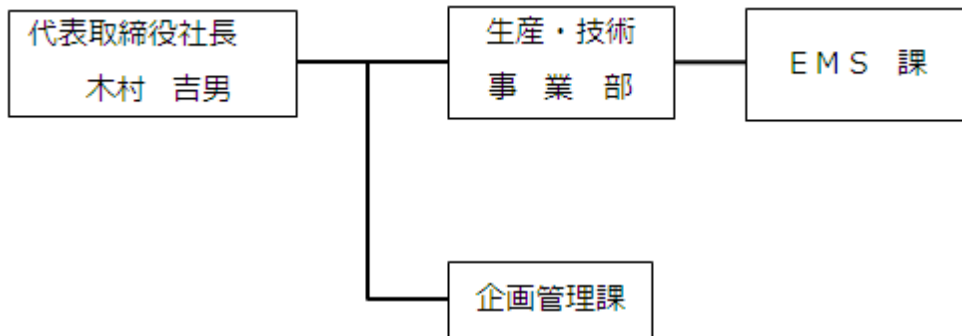


(再委託先)

株式会社 アサヒ 電子研究所



株式会社 京都テクニカ



(2) 管理員及び研究員

【事業管理者】財団法人 関西環境管理技術センター

管理員

氏名	所属・役職
小猿 和男	技術調査役
浜部 薫	企画管理部 専門員
早野 雅紀	環境技術部 分析課 主幹
加藤 哲二	技術調査役

〔再委託先〕 研究員のみ

株式会社 アサヒ電子研究所

氏名	所属・役職
和倉 慎治	代表取締役
玉置 肇	技術開発部 マネージャー
早川 清治	技術開発部 マネージャー
長瀬 一彦	システム開発部 マネージャー
千葉 稔之	技術開発部 マネージャー
松宮 史尚	技術開発部
近藤 真也	技術開発部

株式会社 京都テクニカ

氏名	所属・役職
永岡 隆行	生産技術統括事業部 亀岡システム工場 開発部 開発設計 グループ グループ長
徳井 崇博	生産技術統括事業部 技術開発課 課長代理
吉田 正幸	生産技術統括事業部 開発課 課長
高田 渡	生産技術統括事業部 開発課
木原 朋泰	生産技術事業部 EMS 課
谷山 晋也	生産技術事業部 EMS 課
永野 和則	生産技術事業部 EMS 課

(3) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

(事業管理者)

財団法人 関西環境管理技術センター

(経理担当者) 企画管理部 専門員

浜部 薫

(業務管理者) 技術調査役

小猿 和男

(再委託先)

株式会社 アサヒ電子研究所

(経理担当者) 総務部 マネージャー

柴田 明子

(業務管理者) 技術開発部 マネージャー

玉置 肇

株式会社 京都テクニカ

(経理担当者) 企画管理課 課長

神宮 仁美

(業務管理者) 技術営業部 取締役 部長

福田 公一

(4) 協力者

(アドバイザー)

氏名	所属・役職
小川 倉一	小川創造技術研究所 代表
近藤 匡俊	株式会社 ダイヤモンドベル 取締役
竹中 宏	日本リニアックス 株式会社 素子製品部 部長
武村 守	大阪府立産業技術総合研究所 機械金属部 金属材料系 主任研究員
細江 美則	太洋工業 株式会社 代表取締役社長
長尾 浩司	株式会社 ハリーズ 事業本部 技術統括部 製造グループ
三原 孝夫	一般社団法人 ネオマテリアル創成研究会 専務理事
黒木 宏芳	三容真空工業 株式会社 技術部 課長



### 1 - 3 成果概要

平成 20 年度から平成 23 年度までの 3 年間の研究開発成果の概要は次のとおりである。

#### (1) 小型高性能歪センサの開発(株式会社 アサヒ電子研究所)

センサ部の小型化により、ロールシャフトへの強度影響なく取付可能で、剪断歪をピンポイントで高精度検出可能な新しい力覚センサを開発することに成功した。

成膜プロセスの最適化によって高感度且つ低抵抗温度係数(TCR)化を達成し、当初計画で設定した技術的目標値を大きく上回る成果を得ると共に、幅広い温度領域にわたって利用可能な力覚センサの可能性を見出した。

小型化: 5.0mm × 3.0mm × 0.5mm

(従来センサに対して面積比 1/5 以下)

高感度: ゲージ率 max15.2(ゲージ率 max15.2)

温度安定性: TCR=20ppm/ 以下 (TCR: 抵抗温度係数)

#### (2) シャフト内蔵型センサモジュールを用いたセンサロールの開発(株式会社 アサヒ電子研究所)

コンセプトの異なる 2 種類のセンサロール(1-Axis Type と Module Type)を設計・試作開発し、フィルム走行時に作用する張力情報の高精度・直接計測を実現した。また、センサロール開発に当たり、高信頼性接合技術や応力分布解析モデルの精緻化技術等、各種要素技術の確立を図り、当初計画で設定した技術的目標を達成した。

センサロールは、ピローブロックが不要となり、フィルム経路や装置レイアウト等のスペース上の制約を一切受けないため、既存の Roll-to-Roll 装置への取付が容易との特徴を備えている。

また、従来検出器と比較して、高速応答性・高感度計測が可能であり、技術的優位性を備える事を確認した。

さらに、Roll-to-Roll スパッタ装置等で要求される真空・高温雰囲気中、プラズマ放電中という過酷環境下で、各種スパッタ工程時に生じる張力変動をリアルタイム計測可能なセンサロールシステムの開発に成功した。

#### (3) 自律式フィルム位置決め制御システムの開発(株式会社 アサヒ電子研究所、株式会社 京都テクニカ)

各種文献・技術資料による調査、装置メーカーや高機能フィルム製品メーカーとのヒアリング等により蓄積されたニーズ情報に基づき、張力フィードバック速度制御とトルク制御の二種類の駆動システムを実装したテスト用巻替装置を新規開発した。

特に、高機能フィルム製品メーカーからの要望が高かった搬送速度 max150m/min の高速走行制御を実現した事で、よりユーザニーズを組み込んだテスト機としての位置付けを強化することができた。

テンションコントローラに関し、ノイズに強い 4 ~ 20mA 電流出力と、PC 等に接続して

ロギング可能な RS-485 シリアル出力の二つの出力ポートを備え、シーケンサや張力制御ボードとの相互通信を実現した。また、同程度の性能を有する他社測定器と比較して、約 1/2 程度の軽量化を達成した。

上記テスト用巻替装置及びテンションコントローラを活用し、センサロール信号による張力フィードバックトルク制御システムを開発した。特に高速走行制御に格別の効果を発揮することが試験的に確認されており、センサロールの高速応答性が制御安定化に大きく寄与していることが示唆される。

また、組込システム・ソフトウェア技術を活用した張力制御ボードを新規設計・試作開発し、センサロール信号を用いた張力フィードバック速度制御を実現。シーケンサに依らない次世代の Roll-to-Roll 制御システムへの適用可能性を見出すことができた。

#### 1 - 4 当該研究開発の連絡窓口

本研究開発の連絡窓口は次のとおりである。

連絡窓口：事業管理者 財団法人関西環境環境管理技術センター

〒550-0021 大阪府大阪市西区川口 2 丁目 9 番 10 号

TEL 06-6583-3262 FAX 06-6583-3274

E-mail: kansai\_bunseki@ematec.or.jp

業務管理者 技術調査役 小猿 和男

## 第2章 本論

### (1) 小型高性能歪センサの開発

#### 1.1 Cr-Si-C 系複合材料を用いた小型高性能歪センサの開発

##### 1) 研究開発の概要:

Cr-Si-C 系複合材料<sup>[1]</sup>及び反応性スパッタリングによる薄膜形成技術を活用し、小型高性能歪センサを設計・試作開発した。

##### 2) 結果:

新素材である Cr-Si-C 系複合薄膜と、反応性スパッタリングによる薄膜形成技術を活用することで、金属圧延箔を用いた市販歪センサに対して面積比 1/5 (センサ部サイズ: 3.0 × 5.0 × 0.5mm) の小型化を達成し、ロールシャフトへの強度影響なく取付可能で、シャフト内部の剪断応力のみをピンポイントで高精度検出可能な新しい力覚センサの開発に成功した。

また、成膜プロセスやパターン設計の最適化を行うことによって、高感度且つ高い温度安定性を達成し、幅広い温度領域に亘って利用可能な力覚センサ<sup>[2]</sup>の可能性を見出すことができた。

表 1. 小型高性能歪センサの仕様

基板サイズ	5.0 × 3.0 × 0.5mm (金属圧延箔歪ゲージに対し面積比 1/5)		
基板材料	SUS316	ゲージ材料	CrSiC 系複合材料 (RF スパッタ法)
膜厚	15nm	熱処理条件	350 × 12Hr
出力感度	ゲージ率 max15.2 (金属圧延箔歪ゲージの 7.6 倍)	温度特性	TCR=20ppm/ 以下 (零点/出力値の温度影響 0.002%/ )
非直線性	< ±1.0%F.S.	ヒステリシス	< ±1.0%F.S.
使用温度範囲	-50 ~ +250 (実績値)	質量	約 0.1g 以下

##### 3) 内容:

日本リニアックス株式会社と大阪府立産業技術総合研究所が共同開発した新しいナノ複合材料・Cr-Si-C を利用し、基板との密着安定性が高く膜厚・組成制御が可能な高周波 (RF) スパッタ法を用いて、小川創造技術研究所 小川倉一氏の指導の下、小型高性能歪センサの新規設計・試作開発を行った。図 1 に小型高性能歪センサの概略及び外観写真を、作製条件を表 2 に示す。

##### (a) 小型高性能歪センサ概略

##### (b) センサパターン

##### (c) 外観写真

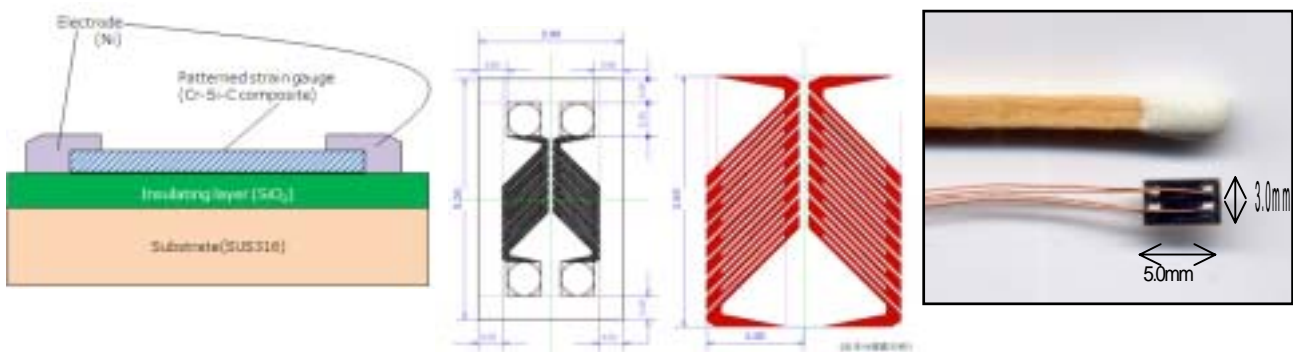


図 1. 小型高性能歪センサ

表2. 小型高性能歪センサの製作条件

Substrate	
Material	SUS316
Size	5.0 mm × 3.0 mm × 0.5 mm
Insulating layer	
Material	SiO <sub>2</sub>
Thickness of layer	6 μm (3 μm × 2 layer)
Sputtering temperature	350
Sputtering of the strain gauge film	
Target	Cr-Si-C composite
Ratio of Cr	80%
Si	5%
C	15%
Sputtering temperature	350
Sputtering time	4 min. 20 sec. (at 150nm thickness)
Etching (Patterning)	
Mask	Cr mask
Etching material	Cerium (IV) ammonium nitrate (CAN) solution ( (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> [Ce(NO <sub>3</sub> ) <sub>6</sub> ]aq )
Etching time	5 min.
Sputtering of the electrodes	
Thickness of Cr	150 μm
Ni	3 μm
Sputtering method	RF Sputtering
Protection layer	
Material	Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>
Sputtering temperature	250
Lead wire	
Material	Polyester form alenamed wire
Diameter of line	0.14 mm

小型高性能歪センサは、汎用の金属圧延箔歪センサとは異なり、起歪材である SUS 基板上に直接センサ薄膜をスパッタ形成する構成を特徴としており、膜密着性、ひいては伝達効率が非常に高く、急峻な力変動に対しても優れた応答性を発揮することができる(図2 参照)。

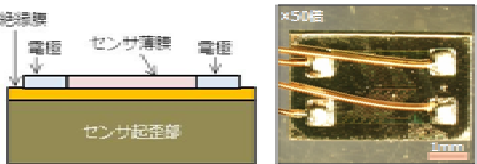
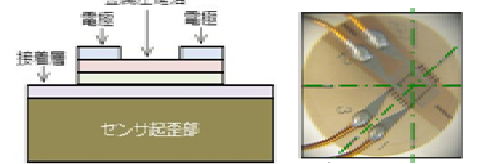
小型高性能歪センサ	従来の汎用ひずみゲージ (NiCr圧延箔)
	
<ul style="list-style-type: none"> <li>●ゲージ率≒15.2 (感度7.6倍)</li> <li>●薄い硬質の絶縁膜を介して歪が伝達するため、伝達効率が非常に高い。</li> <li>●耐熱性が極めて高い (250℃まで使用可能)。</li> <li>●フォトリソ技術を用いて形成するため、ゲージの小型化・集積化に有効。</li> <li>●反応性スパッタリングによる薄膜形成、膜密着性が高い (耐衝撃性に優れる)。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●ゲージ率= 1.8~2.0</li> <li>●接着剤と樹脂ベースを通して歪が伝達されるため、感度が悪い。</li> <li>●接着剤やベース材の低い耐熱温度に依存する。 (高温/低温環境下で接着層・ベース層の特性変化)</li> <li>●位置精度・再現性確保が困難。 (目視作業が不可欠であり、熟練者でも数百マイクロンが限界)</li> </ul>

図2. 小型高性能歪センサと汎用歪センサとの比較

【小型高性能歪センサの性能評価】

本開発では、複数のセンサパターン条件(アスペクト比・膜厚)を評価し、  
 金属圧延箔歪ゲージに比して5倍以上の感度向上  
 低 TCR (抵抗温度係数)化による温度安定性の向上  
 という本来相反する特性の両立を満足する最適化設計を実施した<sup>[3][4]</sup>。センサパターン毎の特性評価結果を表3に、温度特性とゲージ感度の測定結果を図3、4に示す。

表3. 小型高性能歪センサの性能

アスペクト比 (縦横比)	膜厚 [nm]	基準 抵抗値	T C R [ppm/°C]	I-V 特性 (非直線性)	ゲージ感度 (汎用歪センサ比較)	耐絶縁性
200 (折り返し回数10)	15	14.3k	-16.5 ~ -9.9	±0.1%以下	9.8 (4.8倍感度向上)	150V加圧で 絶縁確認 (10μA以下)
	30	8.3k	7.6 ~ 42.6	±0.1%以下	8.8 (4.4倍感度向上)	
	150	1.5k	-23.6 ~ 90.3	±0.1%以下	6.1 (3.0倍感度向上)	
500 (折り返し回数17)	15	45.9k	-16.8 ~ 6.8	±0.1%以下	15.2 (7.6倍感度向上)	
	30	30.2k	-16.8 ~ 14.5	±0.1%以下	12.2 (6.1倍感度向上)	
	50	15.5k	-18.2 ~ 72.8	±0.1%以下	8.6 (4.3倍感度向上)	
	150	5.7k	-20.2 ~ 85.7	±0.1%以下	11.0 (5.5倍感度向上)	

ゲージ感度は、金属圧延箔歪ゲージのゲージ率(18.20)との相対比較より算出

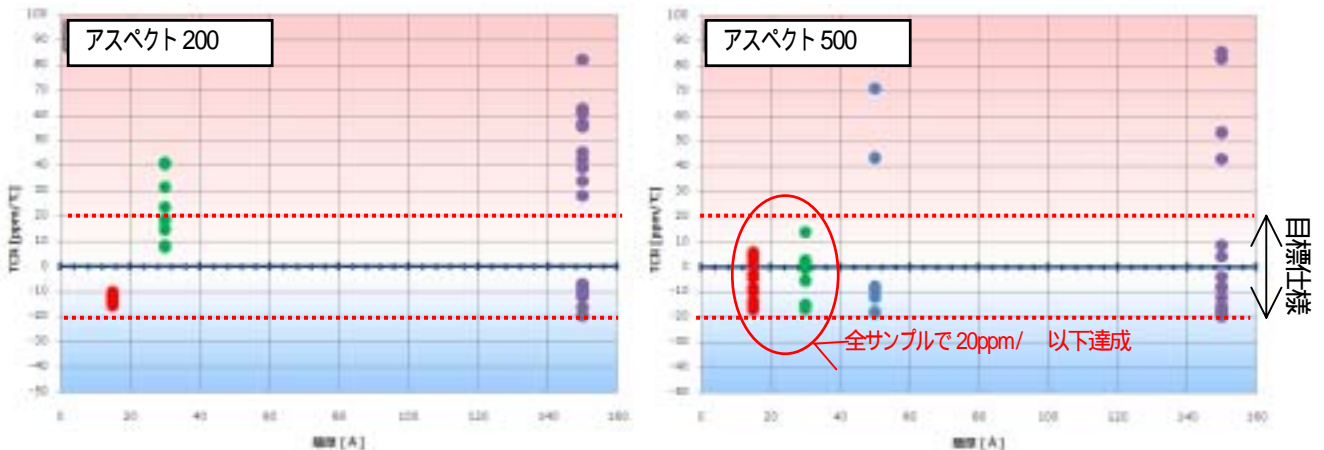


図3 温度特性の膜厚別分散状況

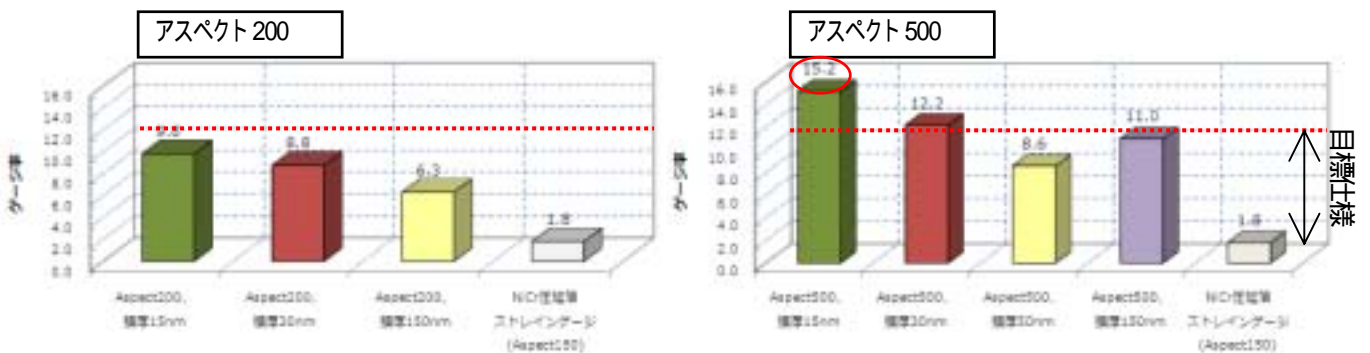


図4. 出力感度の膜厚依存性

温度特性に関し、膜厚 50nm 以上では TCR=-20 ~ 90ppm/ と幅広い範囲で分散しているのに対し、膜厚 15nm では TCR=-16.8 ~ 4ppm/ まで収束する傾向にあり、膜厚の薄型化が温度特性の安定化を向上させることが見出された。

また、膜厚薄型化に伴って出力感度が向上する傾向にあり、膜厚 15nm で最大ゲージ率 15.2(金属圧延箔歪ゲージの約 7.6 倍)の結果を得た。

以上の評価結果に基づき、出力感度及び温度安定性の双方に優れるアスペクト比 500/膜厚 15nm の条件で試作した小型高性能歪センサを、センサロール搭載センサとして選定した。

## (2) シャフト内蔵型センサモジュールを用いたセンサロールの開発

### 2.1 シャフト内蔵型センサモジュールの開発

#### 1) 研究開発の概要:

ロールシャフトの内部に小型高性能歪センサを内蔵した組込モジュール構造を備えるセンサロール及びテンションコントローラを新規開発した。

#### 2) 結 果:

コンセプトの異なる 2 種類のセンサロール(1-Axis Type/Module Type)を設計・試作開発し、フィルム走行時に作用する張力情報の高精度・直接計測を実現した。センサロールは、ピローブロックの増設が不要となり、フィルム経路や装置レイアウト等のスペース上の制約を一切受けないため、特に既存装置への搭載・置き換えが容易との特徴を備える。

また、従来検出器と比較して、ロールの運動状態変化に即時に追従する高速応答性と、従来では測定困難であった微小な張力変動を検出する高感度計測が可能との技術的優位性を備えており、フィルム走行時の張力変動を高精度且つリアルタイムに直接計測する新たなテンションセンサの開発に成功した。

さらには、高機能フィルム製品の製造に不可欠な Roll-to-Roll スパッタ装置<sup>[5][6]</sup>に搭載可能なセンサロール及びテンションコントローラを新規設計・開発し、真空・高温雰囲気中、プラズマ放電中という過酷環境下での張力測定を達成した。

表4. センサロールの基本仕様

検 出 方 式	小型高性能歪センサ (SIZE:3.0×5.0×0.5mm)	種 類	1-Axis Type Module Type
計 測 原 理	張力作用によるロールシャフト内部の剪断歪みを直接検出	主な利用対象	低張力の検出・省スペース設備に有効
センサ搭載方式	シャフト組込型 (実質専有面積 0 ベース)	計 測 精 度	±1.0% F.S.
定 格 張 力	50 ~ 250N(実績値)	許 容 テンション	安全率 4 以上
時 間 応 答 性	10 μ sec(固体素子) (応答遅れ 0 ベース)	使用温度範囲	0 ~ 150
使 用 環 境 ( 真 空 対 応 )	到達真空度 10 <sup>-7</sup> Torr オーダで使用可能な事		
	スパッタ成膜・プラズマ放電(Ar・N <sub>2</sub> ガス雰囲気中)条件下で使用可能な事		
	雰囲気温度 max150 で使用可能な事		

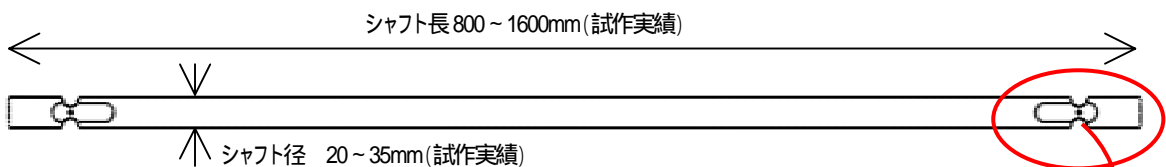
表5. テンションコントローラの基本仕様

荷重分解能	1.0N/bit 以下	応答性	1msec ~ 50msec (サンプリングタイム可変)
ノイズ影響	± 1.0%F.S.(スパッタ時)	電源電圧	DC24V 最大 100mA
周囲温度	0 ~ 50	周囲湿度	35 ~ 85%RH 以下 (結露無き事)
S I Z E	200 × 107 × 39.6mm	質量	760g
出力方式	制御用出力	テンション値電流出力 4 ~ 20mA センサロール 左右合算テンション値	
	計測・ログ用出力	RS-485/半二重(シリアル信号) センサロール Left/Right テンション値(左右各別)	
使用環境	真空槽外壁あるいは制御盤に据付(据置・パネルマウント)可能な事		

3) 内 容:

【センサロールの開発】

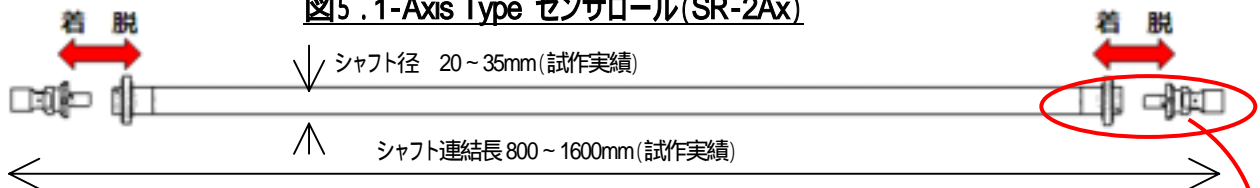
本事業で設計・試作開発したコンセプトの異なる二種類のセンサロールを図5、6に示す。



1-Axis Type センサロールの主な特徴

- ロールシャフトの両端内部に小型高性能歪センサを埋設固着した構成を備える
- 張力情報の高精度・直接計測を実現
- ピローユニット等の外付け・固定ツールが不要
- フィルム経路や装置レイアウトのスペース上の制約を一切受けないため、既存の装置設備への搭載が(大がかりな改造・投資無しに)容易に実現可能
- フィルム走行ライン上で張力分布情報を監視することが可能
- 組入システム・ソフトウェア技術の活用
- (シーケンサによる Stand Alone 制御からの脱却)

図5. 1-Axis Type センサロール(SR-2Ax)



Module Type センサロールの主な特徴

- 1-Axis Type センサロールの特徴に加えて
- 加工精度・再現性の向上
- 張力検出部が大幅に小型化され、加工時の取扱いが格段に容易
- センサロールの製造・加工コストダウン
- センサロールの装置取付、セッティング及びメンテナンスが簡略化でき、作業効率や信頼性が大幅に向上
- シャフトサイズの変更に對しフレキシブルに對応可能
- (センサモジュールの規格化)

図6. Module Type センサロール(SR-2Sp)

また、真空環境に適応したセンサロールとする為に以下の改善設計を実施した。

### センサ搭載部のシーリング処理を追加

超高真空用の封止剤であるスーパーバックシールを採用し、小型高性能歪センサ搭載部に塗布・シーリング処理を行った。

(スーパーバックシールとは、ガス放出量の少ない真空用のエポキシ系接着剤。主に真空槽の微小リークや槽内の小型部品固定に使用)

本処理を行うことで到達真空度  $10^{-7}$ Torr を達成し、不純ガスの漏洩防止を達成した。



図7.スーパーバックシール

### 熱影響対策の追加

自己温度補償機能を備える2ゲージ法<sup>[3][4]</sup>を採用し、センサ信号の出力安定化を図った。

(2ゲージ法とは、ブリッジ回路の2辺にセンサ抵抗、残る2辺に固定抵抗を接続する方式で、複合歪状態から特定の歪量のみを分離して取出す場合に用いられる。主に温度補償機能の付与や出力ゲインの増大等の特徴を備える。)

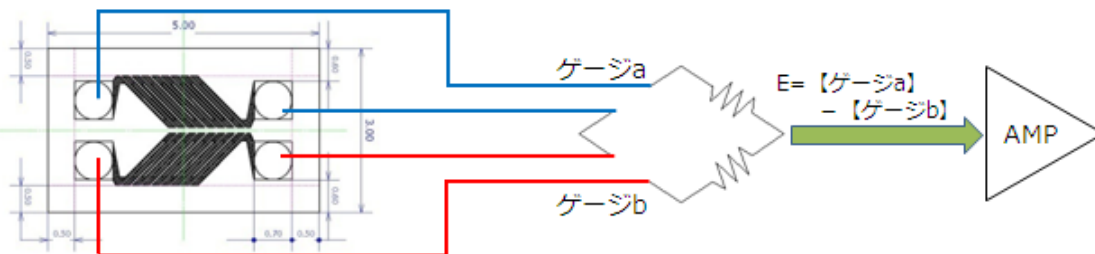


図8.小型高性能歪ゲージによる2ゲージ接続法

### テフロン被覆シールドケーブルの採用

真空槽内を引き廻す配線材料には、耐熱性に優れたテフロン被覆シールドケーブルを採用した。

しかしケーブル自身の可撓性が著しく低い為、センサ接続部に大きな負荷がかかり、断線や接続不良が頻発するという問題が別途発生した。

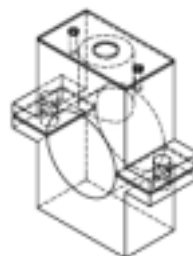


図9.配線接続モジュール

(左:組立概観図、右:センサロール組付写真)

そこで、図9に示すような接続モジュールを新規設計・製作し、高温環境用コネクタ(LEMO社製)を用いてテフロンケーブルとセンサ部を接続する方式に変更することで、張力センサとしての信頼性向上を図った。

### 【テンションコントローラの開発】

Roll-to-Roll装置搭載用として設計・開発したテンションコントローラを図10、装置概観図を図11に示す。開発されたテンションコントローラは、ブリッジ・増幅部からなるアナログ回路と、A/D変換・演算部・通信制御部からなるデジタル回路から構成される。また、ゼロ点バランス及びスパン調整等の機能を取り込み、センサロール専用の測定ユニットとして製作した。



<回路ブロック図 (基本構成)>

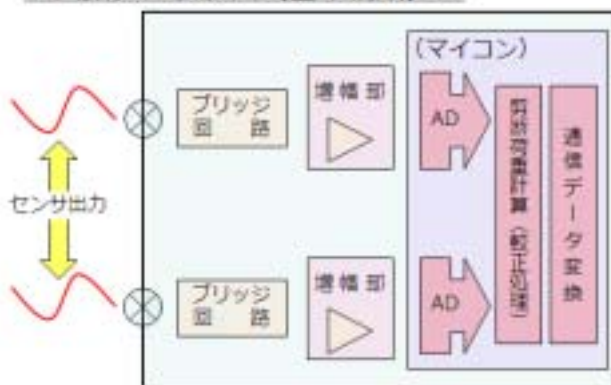


図10. テンションコントローラ (TMC-200D)  
(SIZE : 200mm × 107mm × 39.6mm)

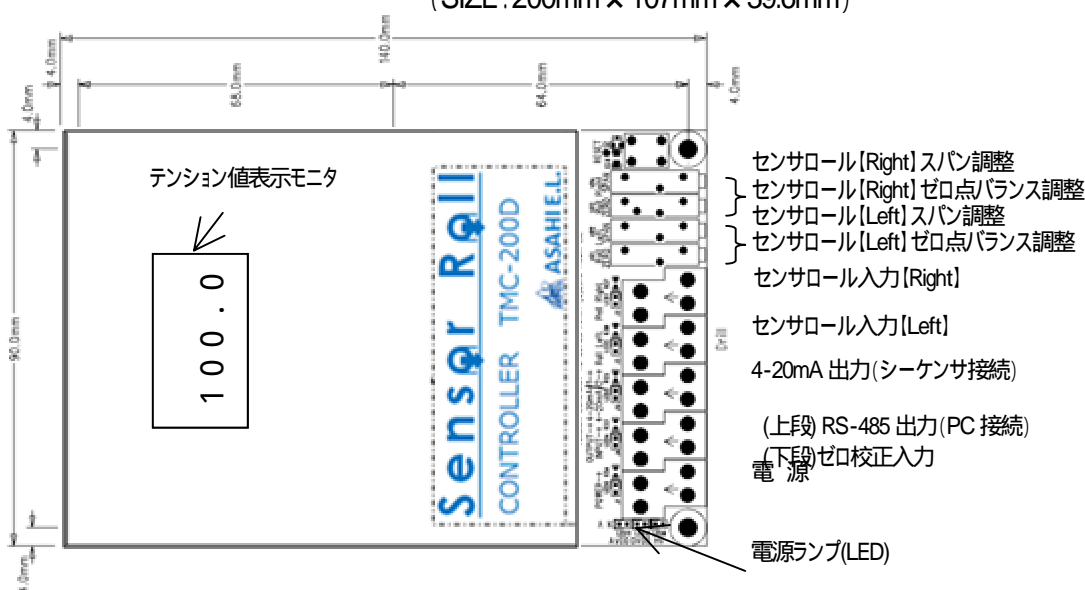


図11. テンションコントローラ装置概観図

テンションコントローラの出力形式としては、シーケンサと通信する制御用アナログ出力としてノイズに強い 4-20mA 電流信号を選択し、さらに PC やマイコンと接続して張力情報を記録・ロギングするシリアル信号 (RS-485/半二重)を追加した 2つの出力ポートからなり、シーケンサや PC、マイコンとの相互通信を実現した。また、ユニット質量は 760g であって、同程度の機能を備える他社測定器 (例: NIRECO 社製 TM140D の場合、質量 1.5kg) の約 1/2 軽量化を達成した

【センサロールを用いた張力測定結果】

後述するテスト用巻替装置にセンサロール及びテンションコントローラを設置・搭載し、フィルム走行時の張力データ取得を行った。代表的な測定結果を図 12 に示す。

<計測条件>

搬送速度: Vf=10m/min(正転)

張力: 40N/m 一定

フィルム: PET(幅 500mm、厚 38 μm)

制御系式: ダンサロールによる張力フィードバック速度制御

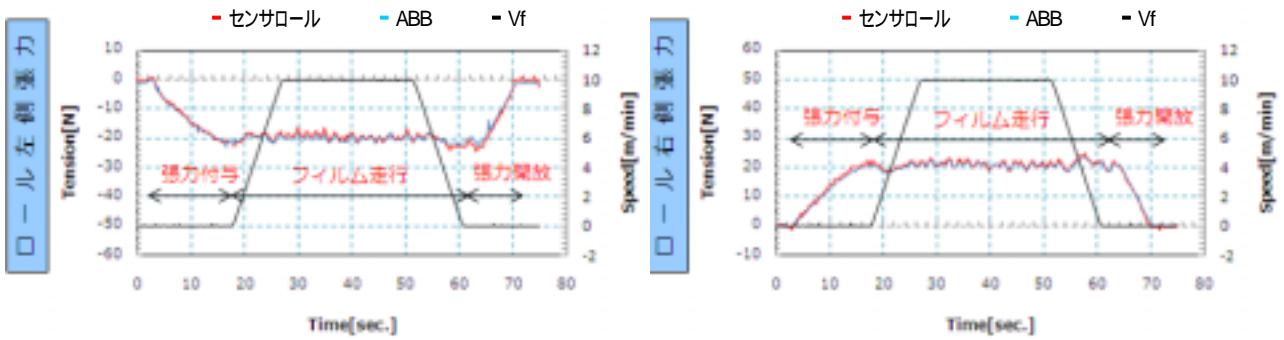


図12. フィルム走行時の張力測定結果 (一例)  
(ABB 測定器とセンサロールとの出力比較)

定常走行状態において、センサロール信号と張力測定器(ABB 社製)の信号の軌跡は良好に一致しており、センサロールは張力制御用センサとして十分満足する性能を備える事を確認した。

またテンションコントローラに関し、サーボモータから発生する高周波/強磁界等の外的要因が大きい計測環境下であっても、ノイズ影響を効果的に排除する事ができており、回路安定性の飛躍的向上を達成した。

センサロールに関しては、ロールに作用する2~5N程度の微小な張力変動を瞬時に検知しており、低テンションのリアルタイム計測を実現した。

【センサロールの性能優位性】

センサロールの最大の技術的特徴である

- ◆ 高 速 応 答 性
- ◆ 高 感 度

に関し、図13、14を用いて説明する<sup>[7]</sup>。図13は張力50N作用時の張力信号の立ち上がり、図14はフィルム走行開始直後の張力状況をそれぞれスポット的に拡大表示したグラフであり、センサロール及び張力測定器の出力データを比較検討した。

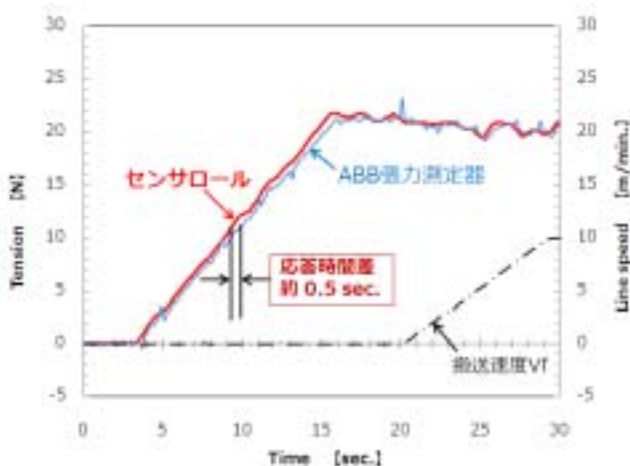


図13. センサロールの高速応答性について

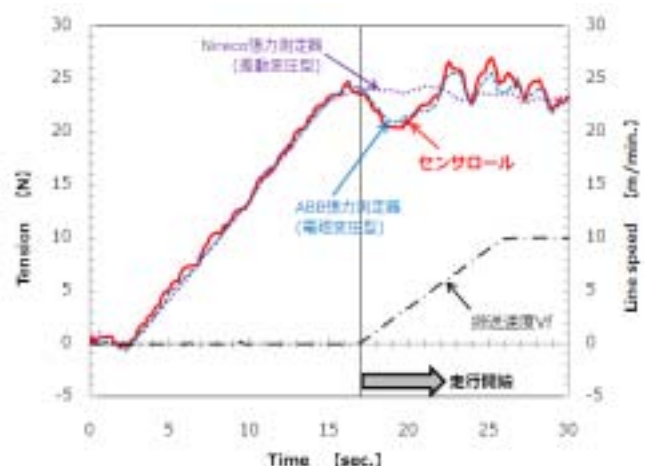


図14. センサロールの高感度計測について

図13より、張力作用時のABB張力測定器データには約0.5秒の応答遅れが生じていることが確認された。

それに対し、センサロールは応答遅れなく張力変動を瞬時に検出しており、ロールの状態(運動)の変化に追従したリアルタイム計測が実現できている。

図 14 より、フィルム停止 走行へと運動状態が変化した直後の過渡的な領域において、センサーロール信号は微小な張力変動を敏感に検出しているのに対し、Nireco 張力測定器は一切検知できておらず(比較的平滑な推移を示している)、数秒後に両者の信号は一致するという傾向が確認された。

すなわち、最も一般的に普及している差動変圧器型の張力測定器では計測困難であった「過渡的な運動領域における微小な張力変動」をセンサーロールは検出可能であることが示唆される。

#### 【真空走行系スパッタ装置への応用展開】

本開発では、三容真空工業株が所有する大型量産設備「連続走行系スパッタ装置(SVR 装置)」にセンサーロールを搭載・設置し、スパッタ走行時の張力変動の測定評価を行った。装置概要を図 15 に示す。

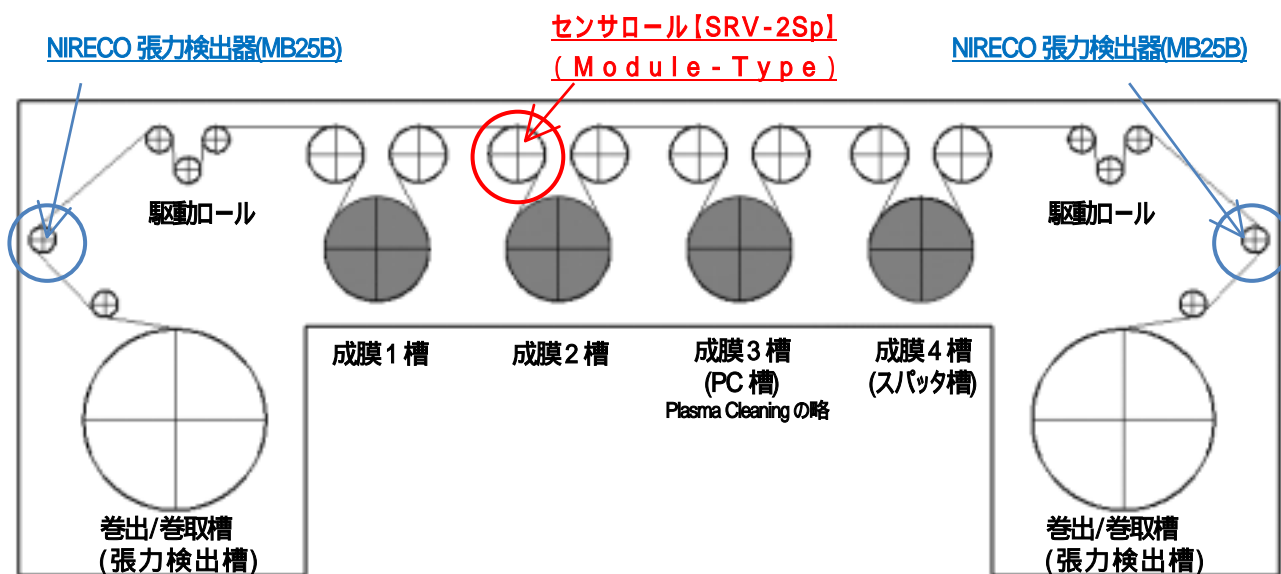


図 15 . S V R 装 置  
(三容真空工業株所有設備 連続走行系スパッタ装置)

SVR 装置は4つの成膜槽からなり、センサーロールによる測定試験では主に成膜3槽でプラズマクリーニング(PC)処理、成膜4槽で直流スパッタリングを実施した。センサーロールは成膜2槽の巻出/巻取槽 側(○囲い部分)に設置されており、駆動ロール手前に据え付けられた Nireco 張力測定器(○囲い部分)でフィルム走行時のテンション制御を行っている。

上記 SVR 装置による高機能フィルム製品の製造工程時の張力測定結果を図 16 18 に示す。各グラフの横軸はサンプリング開始からの経過時間、縦軸はセンサーロールの出力値である。センサーロールの出力値については

SR (Right) : フィルムの順走行方向から見て右端に搭載されたセンサーロールから出力される張力値

SR (Left) : フィルムの順走行方向から見て左端に搭載されたセンサーロールから出力される張力値

SR (Right+Left) : SR (Right)と SR (Left)の合算値で、ロール全体に作用する張力と定義する。

また、Vf はフィルムの搬送速度[m/min]、制御モードは各駆動ロールに支持される設定張力(制御目標値)をそれぞれ示している。

測定条件は以下の通り。

- 試験地 : 三容真空工業株
- 装置 : SVR 装置(巻出/巻取槽×2, 成膜槽×4 から構成される Roll-to-Roll スパッタ装置)
- センサロール : 成膜 2 槽に Module Type センサロールを設置  
【SRV-2Sp; 35 × 1608mm】
- 検出器 : Nireco 製 MB テンションメータ【MB25B】  
(巻出/巻取槽に各 1)
- 測定環境 : 真空中( $10^{-6} \sim 10^{-7}$ Torr)、槽内温度 100 (ヒータ加熱)  
成膜 3 槽でプラズマクリーニング、成膜 4 槽でスパッタリング実施
- 測定条件 : 高機能フィルム製品の製造工程ごとの張力変動を計測  
工程 ガス抜き処理(PC 稼働 Vf=0.5m/min)  
工程 1<sup>ST</sup> スパッタリング(PC+Sputtering, Vf=0.8m/min)  
工程 2<sup>nd</sup> スパッタリング(Sputtering, Vf=0.8m/min)

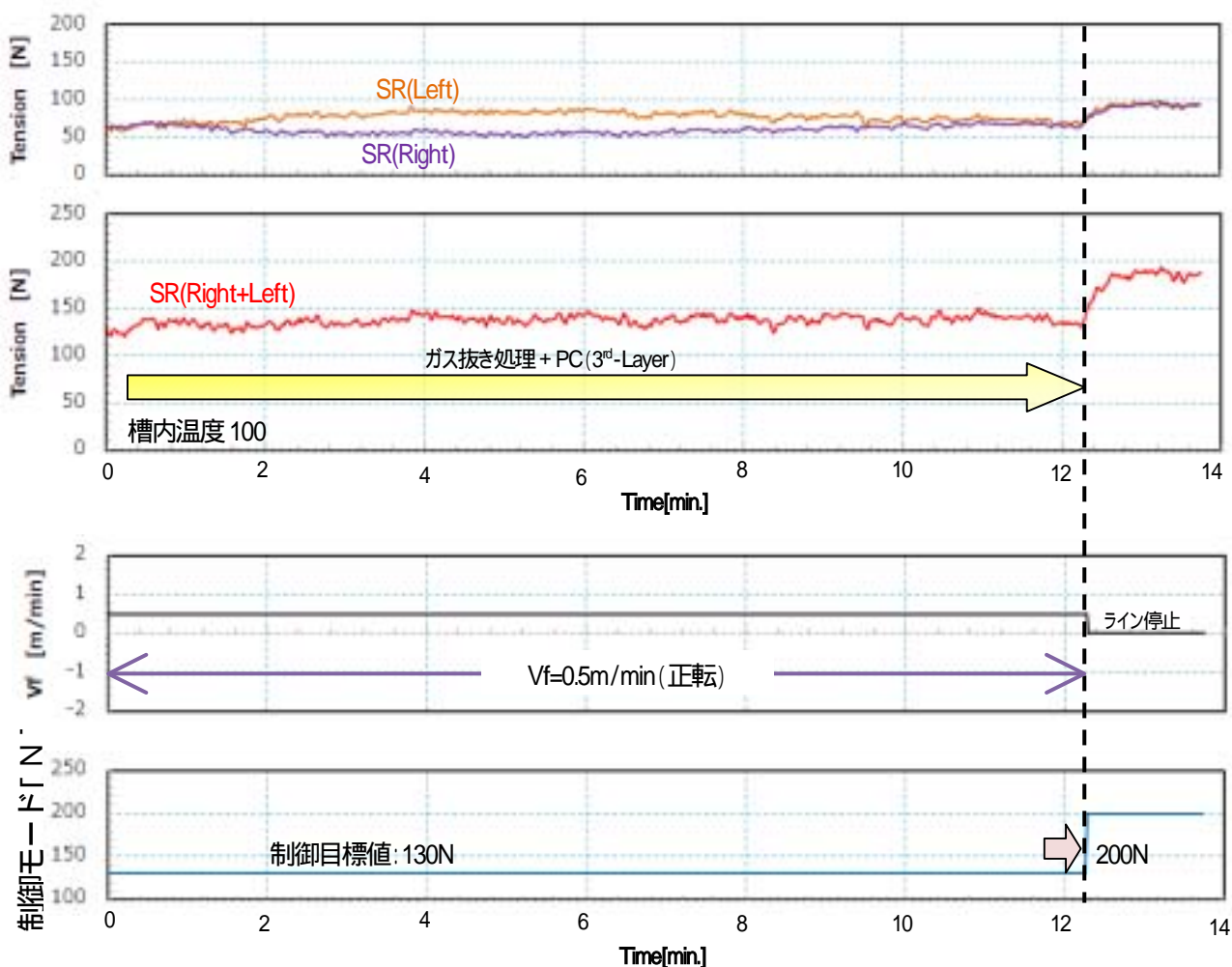
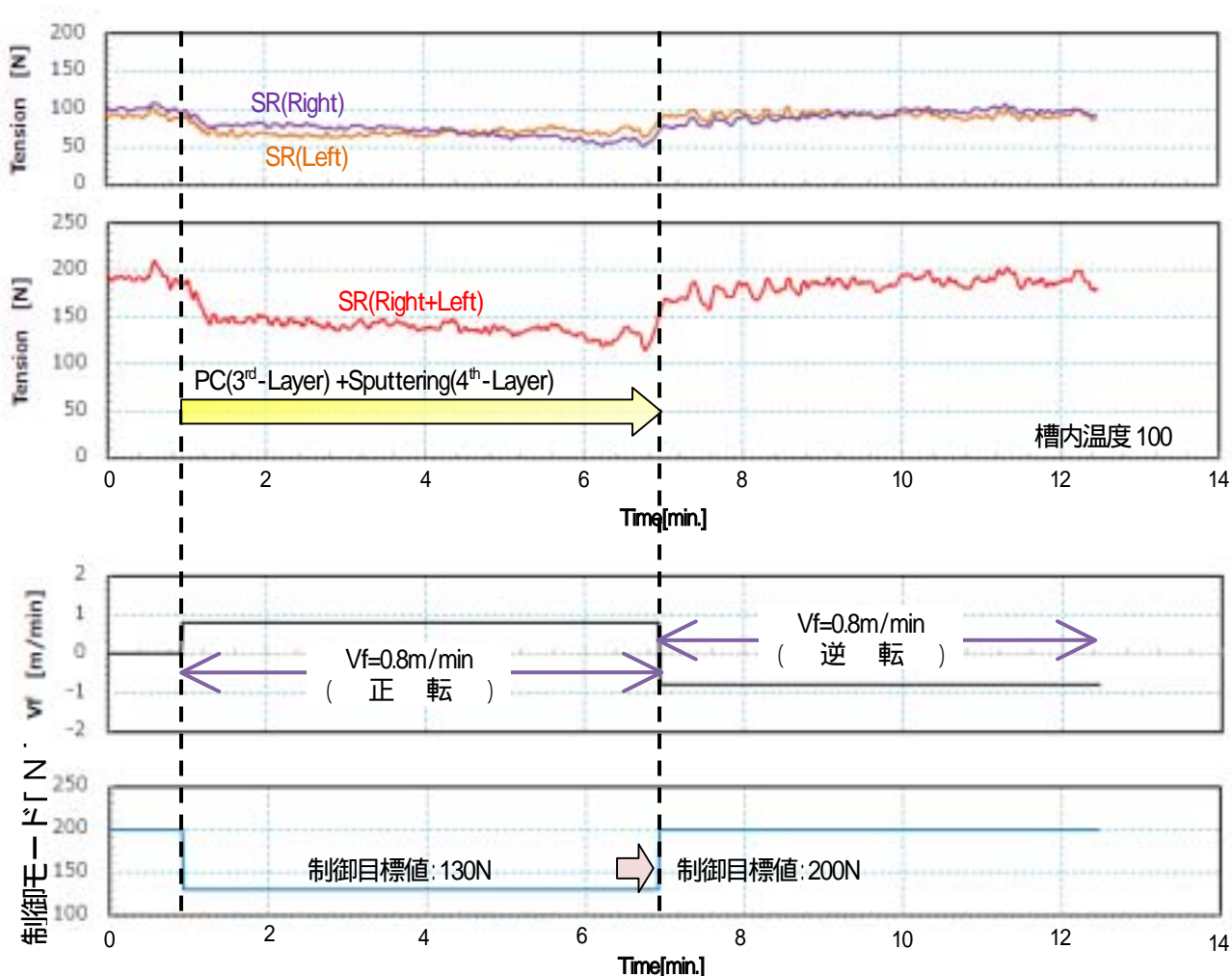


図16 . ガス抜き処理時の張力測定結果(工程 )  
( 成 膜 3 槽 : プラズマクリーニング )

図 16 は、走行中フィルムをヒータ加熱するガス抜き処理時のセンサロール測定結果であり、同時に成膜 3 槽にてプラズマクリーニング(RF)を実施している。測定条件は、真空度  $10^{-4}$ Torr、槽内温度 99.5、搬送速度 Vf=0.5m/min であった。走行時の制御目標張力は 130N であって、走行終了と同時に 200N に戻している。



**図17. 1<sup>st</sup>スパッタ処理時の張力測定結果(工程 )**  
 (成膜 3 槽: プラズマクリーニング、成膜 4 槽: 直流スパッタリング)

図 17 は、スパッタ処理(1 回目)のセンサロール測定結果であり、成膜 3 槽の高周波プラズマクリーニングに加えて、成膜 4 槽で直流スパッタリングを実施している。  
 この時の測定条件は、真空度  $10^{-3} \sim 10^{-4}$ Torr、槽内温度 100.5、搬送速度  $V_f=0.5$ m/min であった。スパッタ走行時の制御目標張力は 130N であって、スパッタリング終了と同時に 200N へ戻す制御を行っている。

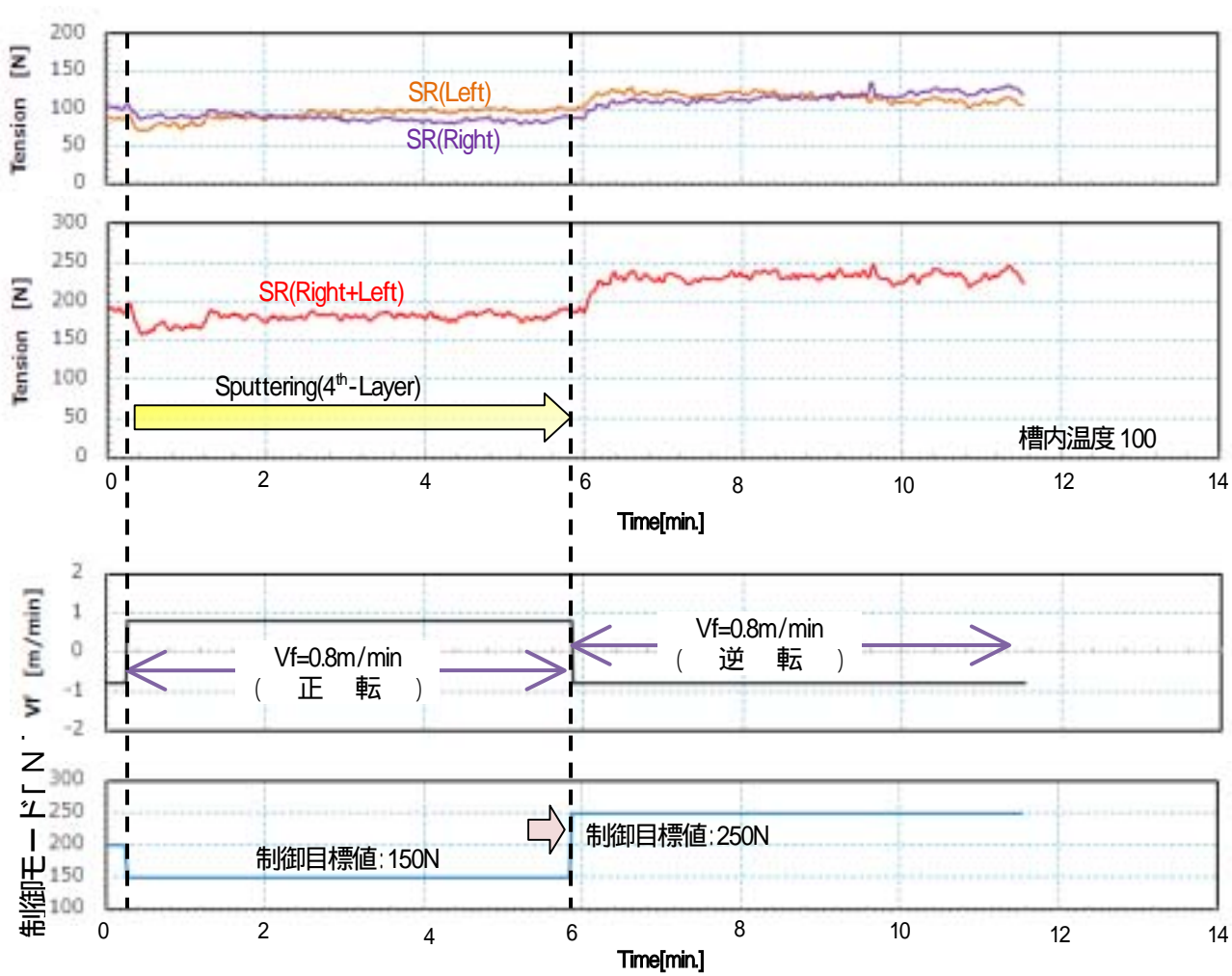


図18. 2<sup>nd</sup>スパッタ処理時の張力測定結果(工程)  
 (成膜4槽: 直流スパッタリング)

図18は、スパッタ処理(2回目)のセンサーロール測定結果であり、ここでは成膜4槽の直流スパッタリングのみを実施している。  
 この時の測定条件は、真空度  $10^{-3} \sim 10^{-4}$ Torr、槽内温度 100.0、搬送速度  $V_f=0.5$ m/minであった。スパッタ走行時の制御目標張力は150Nであって、スパッタリング終了と同時に250Nまで張力を戻す制御を行っている。

以上の測定結果より、Roll-to-Roll スパッタ装置において、真空引き ガス抜き処理 各種スパッタリング処理の一連の工程に亘って安定した張力検出が可能なセンサーロールシステムの開発に成功した。  
 また、真空・高温雰囲気中、プラズマ放電中という過酷な計測環境下で適用可能な張力計測技術を確立することができ、スパッタ装置内部(閉ざされた空間)でのフィルム挙動に応じたリアルタイム制御への適応可能性が示唆された。

### (3) 自律式フィルム位置決め制御システムの開発

#### 3.1 センサロールを用いた張力制御システムの検証

##### 1) 研究開発の概要:

センサロールを搭載したテスト用巻替装置を新規開発し、走行系製造装置への応用展開に向けた計測制御系の実用検証を行った。

##### 2) 結 果:

各種文献・技術資料<sup>[8][9]</sup>による調査、装置メーカーや高機能フィルム製品メーカーとのヒアリング等により蓄積されたニーズ情報に基づき、センサロールによる張力計測・走行制御評価を目的としたロールコータ装置試作機「テスト用巻替装置」を開発した。テスト用巻替装置では、特に高機能フィルム製品メーカーからの要望が高かった張力フィードバック速度制御及びトルク制御の二種類の駆動系統の実装、搬送速度 100m/min Over の高速走行制御への対応を実現した。

さらに、センサロールから提供される張力情報を活用した高速応答性に優れた高精度フィルム走行制御システムを開発することに成功した。

表6 . テスト用巻替装置の基本仕様

制 御 方 式	張力フィードバックによる速度制御 張力フィードバックによるトルク制御 駆動は AC サーボ使用切替による 2 系統
ラ イ ン ス ピ ード	1 ~ 20m/min (速度制御) 10 ~ 150m/min (トルク制御)
張 力	5 ~ 50N/m (速度制御) 10 ~ 40N/m (トルク制御)
巻 径	90 ~ 400mm
原 反 チ ャ ッ ク	3 インチ紙管/樹脂管 エアシャフト方式 (アダプタを介する事で 6 インチ管の取付が可能)
基 材	PET 等(幅 500mm、厚さ 25 ~ 188mm)
張力情報監視ポイント	巻出側: 2 箇所、巻取側: 2 箇所 の計 4 箇所
張 力 変 動 誤 差	± 5.0%以下
蛇 行 修 正	巻出部に EPC 機構 有(エッジ検出による修正)
張 力 検 出 器	ニップロールを挟んで、センサロール及び ABB 社製ピロー ブロックロードセル × 2 巻出ロール直後にセンサロール × 1 巻取ロール直前に Nireco 社製 MB テンションセンサ × 1
静 電 除 去 装 置	巻出側/巻取側に各 1 ヶ所 計 2 ヶ所設置
操 作 パ ネ ル	巻取部のタッチパネルにて操作
ユ ー テ ィ リ テ ィ	電源: AC200V 三相 エア: 0.5MPa 供給

### 3) 内 容:

#### 【テスト用巻替装置の開発】

Roll-to-Roll 装置及びそれを用いた高機能フィルム製品を取り扱う各社メーカーへのニーズ調査を随時実施し、そこで得られた技術情報を装置設計にフィードバックして開発を行った。

## ロ ー ル コ ー タ 装 置 試 作 機 の 主 な 特 徴

### センサロール出力信号を用いた張力フィードバック速度制御

張力フィードバック速度制御方式を維持しつつ、ダンサロールに代わり、センサロールの出力信号を制御パラメータとして、サーボモータ回転数へのフィードバック制御を行う。

モータ回転速度を直接制御する方式のため、特に低速での緻密な走行制御に効果を発揮する。

速度制御とトルク制御とは、タッチパネル操作により任意に切替可能とする。

### センサロール出力信号を用いたトルク制御

センサロールの出力信号を制御パラメータとしたトルク可変制御システムを実装する。

走行時の張力情報をモータトルクにフィードバックして制御を行うため、特に高速走行制御に効果を発揮する。

### 高速走行制御の適用

ユーザからのニーズを受けて、フィルム搬送速度 100m/min Over を実現。

制御方式は張力フィードバックトルク制御を採用する。

シャフト水平度を 3/100 以下とし、高速回転時の共振振動の軽減化を図る。

### ダンサロールを活用した外乱付与機能の追加

ダンサロールは独立した制御系とし、任意にシリンダ圧を発生させることで走行中のフィルムに外乱要因を付与する構成とする。

イレギュラー的な外乱要素が加わった時の張力フィードバック制御を検証することを目的とする。

本事業で設計・開発した『テスト用巻替装置』を図 19～21 に示す。



速度/トルク制御用の制御盤

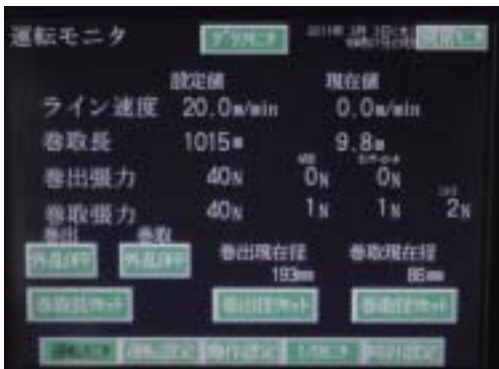


モータ駆動部 (ACサーボ)  
(トルク制御/速度制御を任意に切替可能)



図 19 . テスト用巻替装置 (株京都テクニカ 栗東工場にて撮影)

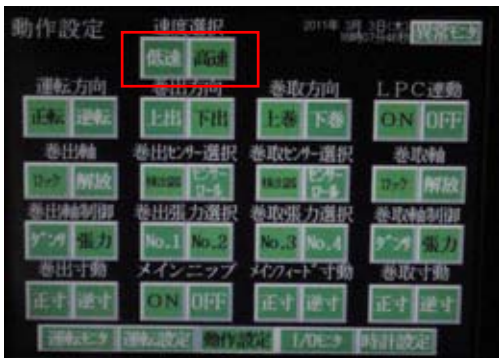




( 1 ) 運 転 モ ニ タ 画 面



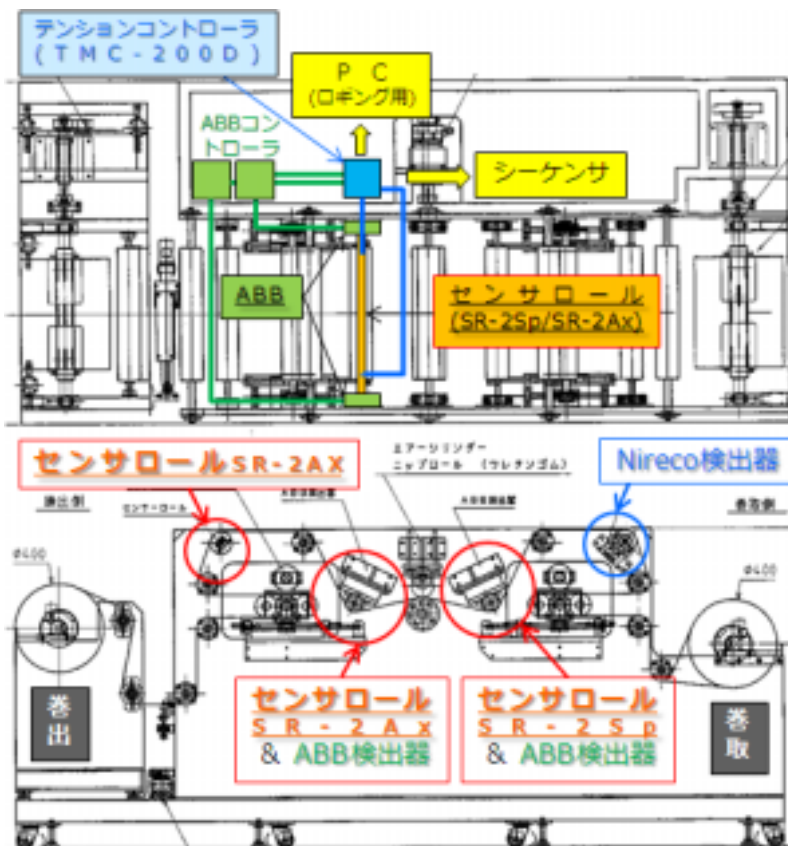
( 2 ) 運 転 設 定 画 面



( 3 ) 動 作 設 定 画 面

- (1) 運転モニタ画面  
搬送速度や巻取長、張力等、現在の走行状態を表示する。  
外乱ONを選択すると、ダンサロールによる外乱付与機能が稼働する。
- (2) 運転設定画面  
搬送速度や目標張力等、各種走行条件を設定する入力画面。
- (3) 動作設定画面  
走行方向の決定や巻出/巻取軸のロック、ニップロールの稼働、張力センサの選定等、各種動作を設定する画面。  
速度選択( 囲い部分)の項目では、(低速)を選択すると速度制御、(高速)を選択するとトルク制御に切り替わる。

図20. テスト用巻替装置の操作パネル画面



センサロール搭載部(拡大)  
(配線接続モジュール取付)



テンションコントローラ  
(制御盤内取付)

※ 囲い部分×3箇所にてセンサロール設置  
(昨年実績同様)

図21. テスト用巻替装置 概略

## 【センサロール信号を用いた張力フィードバックトルク制御】

テスト用巻替装置を使用して、センサロール信号による張力フィードバックトルク制御によるフィルム走行テストを実施した。本テストでは、ニップロールを挟んで対象の位置にあるセンサロール(SR-2Ax, SR-2Sp: 図21 参照)を使用し、巻出/巻取ロールのトルク制御を行った。センサロールから提供される張力情報はテンションコントローラ(TMC-200D)に入力され、シーケンサへとアナログ出力される(通信速度 1msec)。シーケンサへの出力信号としては、ノイズに強い 4-20mA 電流出力を採用した。制御結果を図 22、23 に示す。

### < 測定条件 >

ラインスピード :  $V_f=20, 60, 100\text{m/min}$   
 張力 : 40N 一定  
 フィルム: PET(幅 500mm、厚 25  $\mu\text{m}$ )  
 制御 mode : 張力フィードバックトルク制御  
 張力検出器 : センサロール(巻出側: SR-2Ax, 巻取側: SR-2Sp)  
 ABB 社製ピローブロックロードセル

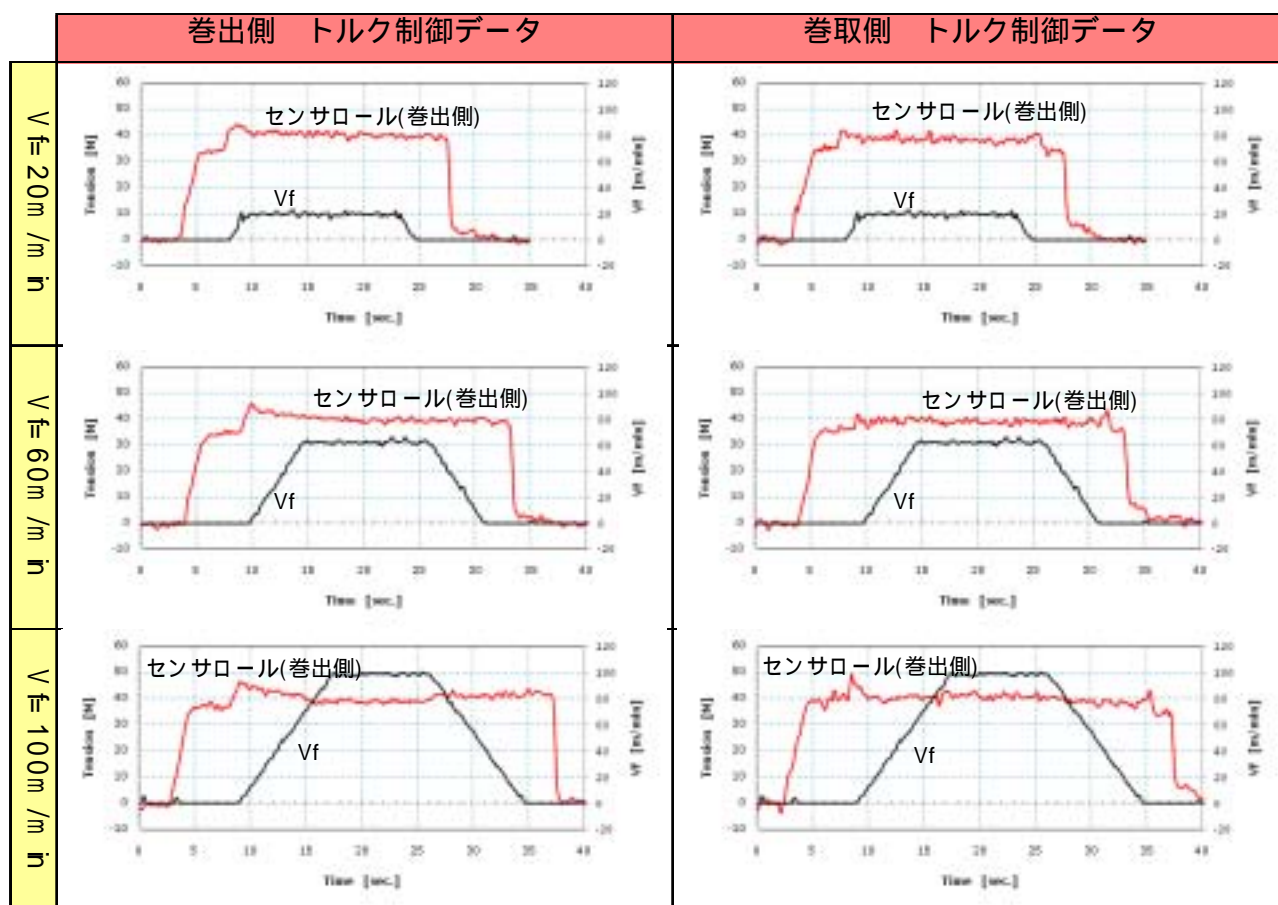


図 22. センサロール出力信号による張力フィードバックトルク制御結果

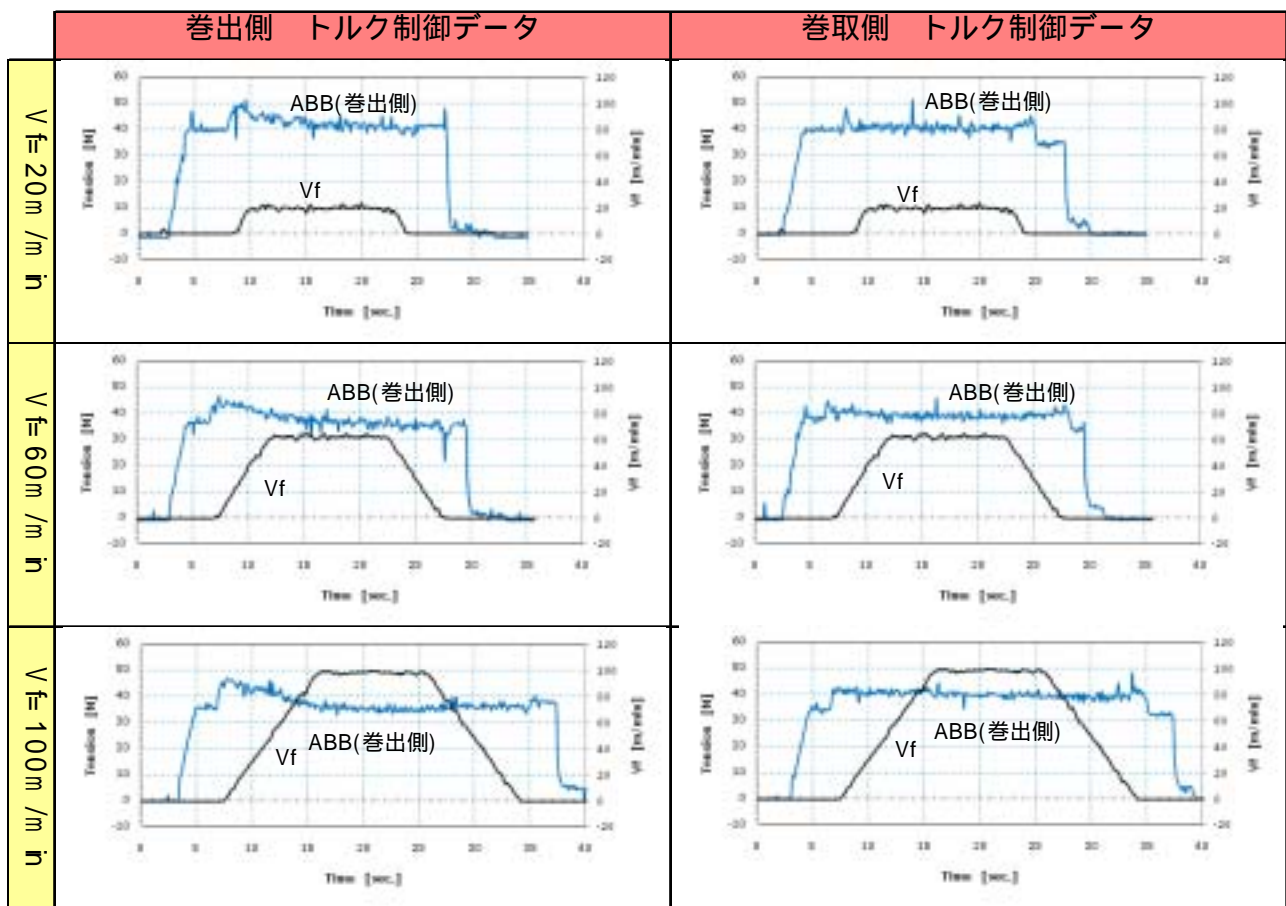


図 23. ABB 検出器信号による張力フィードバックトルク制御結果

図 22 はセンサロール出力信号を、図 23 は ABB 社製検出器からの出力信号をシーケンサにそれぞれ供給し、張力 40N 一定のフィルム走行を行ったトルク制御結果である。

巻取側に関しては、センサロール/ABB 共に比較的張力 40N 一定を維持しており、安定した走行制御が実現できている事が確認できる。

しかし、巻出側については、ABB 検出器信号による制御結果の場合、Over-Tension からの揺り戻しが大きく、搬送速度  $V_f=60\text{m/min}$  以上の高速走行になると、目標張力に十分至らない状態で制御を終了するケースも確認された。

それに対し、センサロールによる制御結果では、走行開始直後の Over-Tension からの復帰が速やかであり、概ね目標張力近傍での制御が実現できている。センサロールの高速応答性が制御安定化に貢献していることが示唆される。

以上の結果より、センサロールは、Roll-to-Roll 装置におけるフィルム走行制御の性能をワンランク向上させる、すなわち、高機能フィルム製品の品質確保と生産性向上の両立を達成する可能性を備えており、高精度且つリアルタイム性が要求される次世代の走行制御に必要な技術要素であると考えられる。

【張力制御ボードを用いた張力フィードバック速度制御】

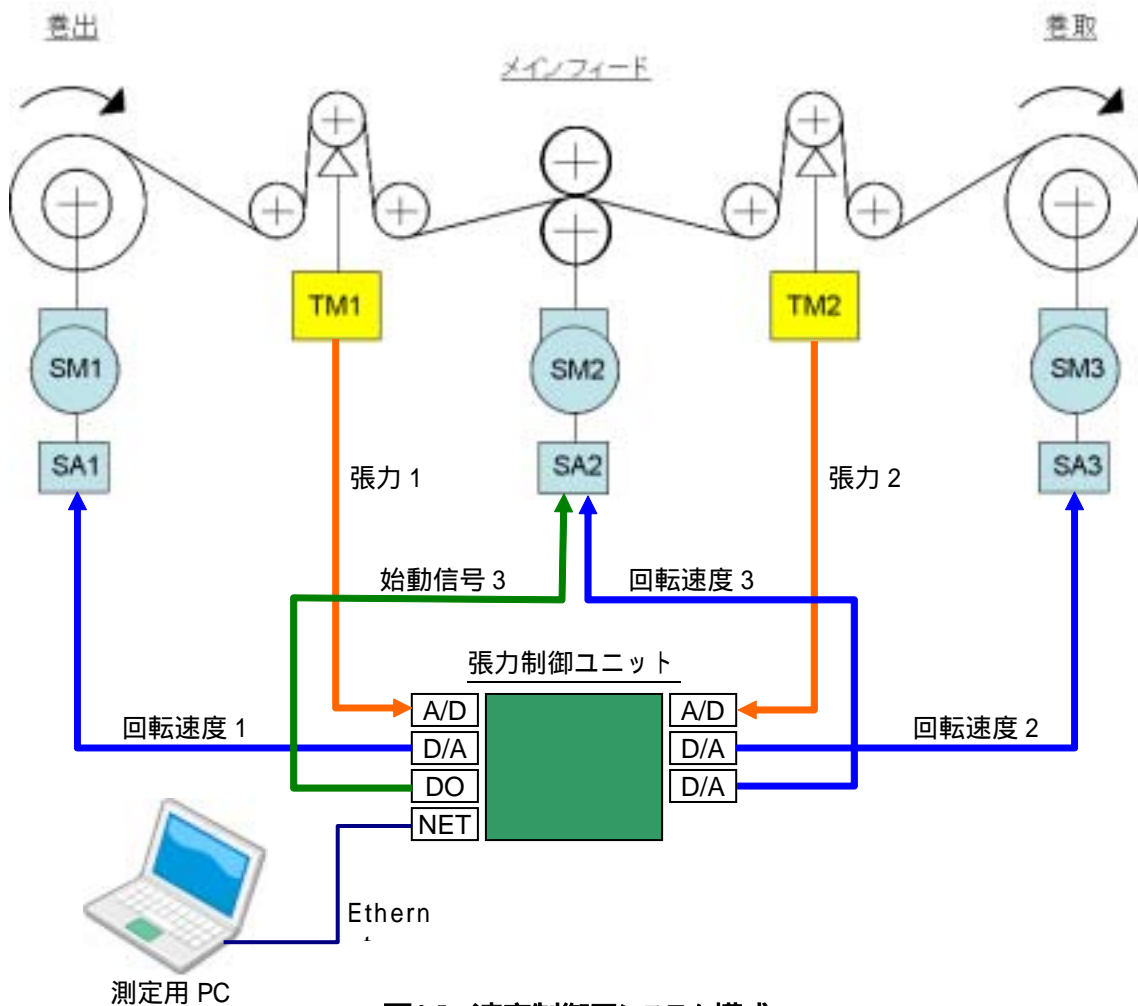
本開発では、主として Roll-to-Roll スパッタ装置で運用され、且つ制御安定化が困難とされる搬送速度 10m/min 以下の速度制御を対象として、従来シーケンサで行われている走行制御を組込ソフトウェア上で実現した張力制御ボードを新規設計・試作開発し、テスト用巻替装置を用いた実機検証を行った。図 24 に張力制御ボードの概観と基本仕様、図 25 にシステム構成図を示す。



仕 様	性 能
CPU	Atom Z530 (1.6GHz)
メモリ	1GB
OS	組込Linux (Debian GNU/Linux 5.0)
A/D	入力範囲：±10V、分解能：16bit、精度：±3LSB (最大)
D/A	入力範囲：±10V、分解能：16bit、精度：±3LSB (最大)
通信	Ethernet (測定用PC接続)
電源	DC +7V~+27V
サイズ	180 (W)×118 (D)×44.2 (H) (突起部含まず)
重量	1.08kg
使用条件	周囲温度：0~50℃ 周囲湿度：10~90% (結露無き部)

銀色のケース内部に張力制御ボード(マイコン)が格納されている。  
背後の黒い横長のケースは配線接続用の端子台。

**図24. 張力制御ユニット**



**図25. 速度制御用システム構成**

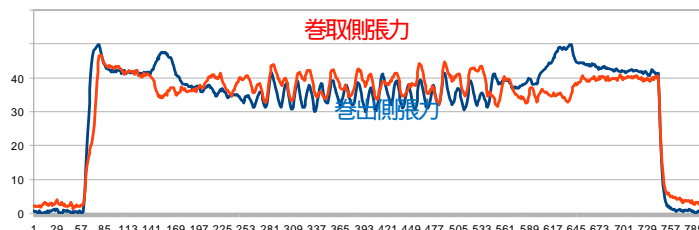
制御対象であるテスト用巻替装置は、図 25 に示す通り、3 台の駆動系ロール(巻出・巻取・メインフィード)と、メインフィード挟んで対称の位置にある 2 台のセンサロールからなる。それに対応して張力制御ユニットは、センサロール信号を読み取る A/D コンバータ×2 台と、ロール速度を出力する D/A コンバータ×3 台を備える。また、運転開始トリガー用としてメインフィードのサーボンプに指示を出す始動出力信号を持つ。代表的な制御結果を図 26 に示す。

< 測定条件 >

ラインスピード: Vf=1~10m/min  
 張力: 15N、40N 一定  
 フィルム: PET(幅 500mm、厚 25 μm)  
 制御 mode: 張力フィードバック速度制御  
 制御部: 張力制御ボード  
 サンプリング間隔: 100/300msec  
 A/D 分解能: 8/16bit

- 右グラフは、シーケンサを介さず、直接張力制御ボードを活用して行った走行制御結果である。
- 張力制御ボードは、複数のセンサロールからの張力情報を一括管理し、駆動系ロールを強調制御する機能を備える。

張力



ラインスピード

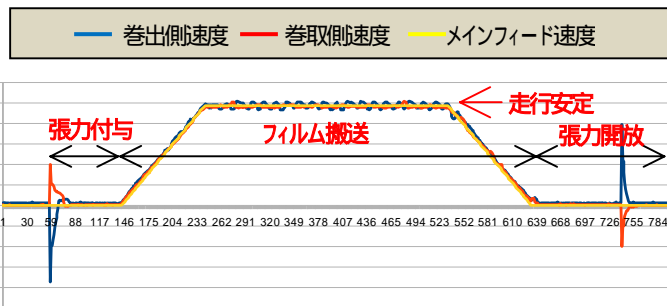


図 26 . 張力制御ユニットによる張力フィードバック速度制御結果  
 (サンプリング間隔 100msec、目標張力 40N、ラインスピード 5m/min)

図 26 より明らかなように、シーケンサを介さずに直接張力制御ボードでモータ制御することによって、特に 10m/min 以下の低速領域において安定した走行制御を実現することに成功した。

本結果より、特に制御安定性の確保が困難な低速領域での速度制御に関し、複雑・高コスト化の傾向にあるシーケンサに代表される従来制御システムに対して、組込制御技術を活用することで大幅な小型・低廉化が実現でき、シーケンサに依らない次世代の Roll-to-Roll 制御システムへの適用可能性を見出すことができた。

( 参 考 文 献 )

- [1] 特許公報「受圧管一体型圧力センサ」(特許第 4284508 号、出願人:日本リアックス(株)、大阪府)
- [2] 第 50 回真空に関する連合講演会プロシ - ディングス「CrSiC 系複合薄膜による高性能力覚センサの試作」  
(近藤真也、玉置肇、竹中宏、武村守、小川倉一 著、日本真空協会)
- [3] ひずみゲージによるひずみ測定入門(高橋 賞・河合 正安 著、大成社)
- [4] TML ひずみゲージ特性ガイド(株東京測器研究所)
- [5] フィルムベースエレクトロニクスの最新要素技術(中山弘・中山正昭・小川倉一 監修、(株)シーエムシー出版)
- [6] 小型・高機能ロールツーロールスパッタ装置(玉垣浩、瀬川利規、大庭直樹 著、神戸製鋼技報 Vol.58  
No.2 )
- [7] 第 51 回真空に関する連合講演会プロシ - ディングス「小型高性能力覚センサを用いたロールツーロール  
スパッタ装置用張力計測システムの試作」(近藤真也、玉置肇、竹中宏、武村守、小川倉一 著、日本真  
空協会)
- [8] ウェブ搬送におけるトラブル対策と最適制御技術集(寺田 要・三谷 修造 他著、(株)技術情報協会)
- [9] ロール to ロール要素技術と可能性 ~ バッチ処理からの脱却と量産化 (田邊 裕史・杉山 征人 他著、(株)情  
報機構)

## 第3章 全体総括

### 3 - 1 研究開発成果

平成20年度から平成22年度までの3年間の研究開発事業として掲げた各研究項目について研究及び検討試験等を行い、以下に示す成果を得た。

#### 小型高性能歪センサの開発

センサ部の小型化により、ロールシャフトへの強度影響なく取付可能で、剪断歪をピンポイントで高精度検出可能な新しい力覚センサを開発することに成功した。また、当初計画で設定した技術的目標値を大きく上回る成果を得ると共に、幅広い温度領域にわたって利用可能な力覚センサの可能性を見出した。

#### シャフト内蔵型センサモジュールを用いたセンサロールの開発

コンセプトの異なる2種類のセンサロールを設計・試作開発し、フィルム走行時に作用する張力情報の高精度・直接計測を実現するとともに、当初計画で設定した技術的目標を達成した。

さらに、Roll-to-Roll スパッタ装置等で要求される真空・高温雰囲気中、プラズマ放電中という過酷環境下で、各種スパッタ工程時に生じる張力変動をリアルタイム計測可能なセンサロールシステムの開発に成功した。

#### 自律式フィルム位置決め制御システムの開発

張力フィードバック速度制御とトルク制御の二種類の駆動システムを実装したテスト用巻替装置を新規開発した。特に、搬送速度 max150m/min の高速走行制御を実現した事で、よりユーザーニーズを組み込んだテスト機としての位置付けを強化することができた。

また、テンションコントローラに関し、シーケンサや張力制御ボードとの相互通信を実現するとともに、同程度の性能を有する他社測定器と比較して、約 1/2 程度の軽量化を達成した。

さらに、組込システム・ソフトウェア技術を活用した張力制御ボードを新規設計・試作開発し、センサロール信号を用いた張力フィードバック速度制御を実現することにより、シーケンサに依らない次世代の Roll-to-Roll 制御システムへの適用可能性を見出すことができた。

本研究開発により種々の成果が得られるとともに、明らかになった課題及び今後の事業展開等について次に示す。

### 3 - 2 研究開発後の課題・事業化展開

#### (1) 研究開発後の課題

本事業での開発成果を踏まえ、研究開発終了後の課題として下記 2 点を想定する。

##### メーカーニーズに基づくアプリケーションへの応用展開

Roll-to-Roll 装置やそれを用いた高機能フィルム製品を取り扱うメーカーに対し本事業期間中に実施したヒアリング調査結果により、各社が様々なニーズや技術的課題を抱えている事が明らかとなった。その一部については、本事業実施期間中に開発テーマとして取り組み、一定の成果・課題解決を得ているが、今後、制御までを含めてパッケージされた製品展開に向けたセンサロールの改善・アプリケーション開発が必要不可欠であると判断する。

##### 【本事業実施期間中に解決したアプリケーション開発】

###### (ア) 高速走行制御への適用

搬送速度 100m/min での高速フィルム走行時の張力フィードバックトルク制御を実現。走行開始直後の Over-Tension からの復帰が速やかであり、高い制御安定性を確保できている事が確認された。

###### (イ) Roll-to-Roll スパッタ装置向けセンサロールの応用開発

真空環境に適応したセンサロールシステムを開発し、一連の高機能フィルム製造工程下において張力計測を実現した。

##### 【研究開発後の課題としてのアプリケーション開発】

###### (ア) 高温環境下での張力制御システムの確立

特にベーク炉等による熱処理直前・直後の張力制御が要求されており、耐熱温度 200 ~ 250 を満足するセンサロールの改善開発が必要。

###### (イ) 走行中フィルムの位置補正(蛇行修正)制御への適用

ロールの左右各別に張力計測が可能というセンサロールの特徴を活かし、左右の張力差を監視することで、常にフィルムがセンター(ロール中心)を走行する蛇行修正制御システムを組み込んだアプリケーション開発。

###### (ウ) フィルム走行時のロールスリップ判定・制御システムへの適用

高速走行時のフィルムとロール間に滑りが生じる問題が提起されており、センサロールの高速応答性という特徴を生かし、滑りが生じる直前の予兆を張力変動から判断・制御するアプリケーション開発。

##### 張力制御ボードを用いた走行制御で適用される速度範囲の拡充

本事業におけるマイコンボードを用いた走行制御では、主として Roll-to-Roll スパッタ装置で運用されるラインスピード 10m/min 以下の低速領域を対象として開発を



行った。

今後、さらに広範な Roll-to-Roll 装置へと対象を広げるため、適用可能な速度範囲の拡充検討を進める事とする。具体的には、一般的なロールコータ装置等で適用されるラインスピード 10～20m/min を対象とし、張力フィードバック速度制御への適用検討を進める事とする。

< 速度範囲拡充に当たっての検討課題 >

(ア) サンプルング速度の UP

ラインスピード上昇時の張力制御の追従性を向上させるため、サンプルング速度(マイコンの制御速度)を上げる必要性が生じる。それに応じて、最適な処理能力(現状 16bit 32bit への変更、クロック周波数の UP 等)を備えるマイコンを選定する。

(イ) 始動時/停止時の過渡状態における張力安定化

フィルム走行始動及び停止時の張力変動を抑制するため、過渡領域における張力変動のテーパ率(上限値・下限値)を設定する。

(2) 事業展開について

本事業実施期間中に行ったセンサロール導入実績について、一例を記載する。

**実績例** 連続メッキ処理装置の補助駆動制御システムへの適用

本事業のアドバイザーでもある(株)表面処理システムが開発中の連続メッキ処理装置において、メッキ槽入口側及び出口側の計2箇所にセンサロールを搭載、補助駆動制御用センサとしての適用性評価を行った。

解決した主な課題としては

- 10N 以下のテンションレス制御を実現する為の荷重分解能
- 耐薬品性・耐腐食仕様(硫酸銅水溶液槽の直上設置の為)

**実績例** テスト用巻替装置の開発

本事業の実施計画書に基づき、センサロールの性能評価を目的として開発。また、今年度よりセンサロール信号を活用した張力制御システムを実装。

**実績例** 高機能フィルムメーカー所有の走行系スパッタ装置へのセンサロール搭載

本事業の実施計画書に基づいて開発し、Roll-to-Roll スパッタ装置の成膜ロールをセンサロールに改造した。スパッタリング中の張力変動をモニタリング・ログ化することを目的とする。

解決した主な課題としては

- 雰囲気温度 100 以上による熱的影響
- スパッタリング時のプラズマ放電による影響
- 真空環境(ガス封止)

**実績例** 電池製品メーカー向け Roll-to-Roll 検査装置の開発  
 電池製品メーカーより Roll-to-Roll 検査装置の開発委託を受託し、  
 同装置へのセンサロール搭載・評価を実施した。

また、特許・論文等の知的財産に係る実績は下表の通り。

特許	基本特許 特開 2009-139270 号「張力検出装置」(出願日:2007 年 12 月 7 日) 周辺技術特許:研究開発成果に基づき 1~2 件の特許出願を準備中
論文発表等	論文発表等 第 50 回真空に関する連合講演会でのポスター発表 <sup>1</sup> (平成 21 年 11 月 5 日) プロシーディングス論文「CrSiC 系複合薄膜による高性能力覚センサの試作」 (「Journal of the Vacuum Society of Japan」 Vol.53(2010), No.5 掲載) 自然順応型ネオマテリアル創成研究会 第 8 回研究会でのプレゼン発表(平成 21 年 3 月 10 日) 平成 21 年度フィルムベースエレクトロニクス(FBE)プラットフォーム第 1 回研究会での プレゼン発表(平成 21 年 10 月 2 日) 真空・表面科学合同講演会でのポスター発表(平成 22 年 11 月 4 日) プロシーディングス論文「小型高性能力覚センサを用いたロールツーロールスパッタ装置用 張力計測システムの試作」(平成 22 年 3 月掲載予定)  その他 日刊工業新聞記事への掲載(平成 21 年 3 月 24 日付/平成 22 年 4 月 6 日付) 月刊誌「CERAMICS JAPAN」2009 年 7 月号トピックス記事掲載 第 9 回コンバーティング機材・印刷技術展「Converttech Japan 2010」へのセンサロール出展 (平成 22 年 4 月;東京ビッグサイト)

本事業による研究開発終了後、次のような事業展開を計画している。

平成 23 年度予算対象案件として、現在、近畿圏内外の複数のメーカーよりセンサロール及びそれを用いたアプリケーションの開発依頼・問合せを頂いている状況。

(高機能フィルム製品メーカー:3 社、Roll-to-Roll 製造装置メーカー:3 社)

現状、各社メーカーが新技術・装置の導入リサーチに積極的な動きを見せている状況を踏まえ、平成 23 年度については、

生産設備に向けた小規模・目的限定したテスト機あるいは検査装置の開発

メーカーが所有している既存の設備装置の一部改良・置き換え

をターゲットに絞り開発実績を蓄積していきながら、次年度以降に向けて計画中の大型・量産向け Roll-to-Roll 設備装置へのセンサロール採用を狙う。

本事業アドバイザーである小川創造技術研究所の紹介により、Roll-to-Roll 装置企業(近畿圏内メーカー)との共同開発プロジェクトを計画中。

同社の研究・実験工場テスト機にセンサロールを実装し、共同での評価テストを実施予定である。これにより装置メーカー(特に設計部隊)に対するセンサロールの製品信頼性向上、実績の蓄積を図り、最終的には同社製品への採用を狙う事とする。

センサロールに対する市場認知度の向上を図る為、展示会等への参加をこれまで以上積極的に展開する。当面の対象としては

FILMEC(高機能フィルム開発技術展:5月末開催、東京ビッグサイト)

あるいはコンバーテックジャパン展への出展

情報誌「コンバーテック」へのセンサロール紹介記事投稿