

MATLAB EXPO 2019

プリンターにおける トナー定着の熱制御設計 へのMBD適用

京セラ ドキュメントソリューションズ株式会社
技術本部 森 雅人

2019 / 05 / 28

(2019年4月1日より京セラ株式会社所属)



目次

+1. はじめに

+1.1 会社紹介

+1.2 研究開発の課題

+2. 本開発について

+2.1 プラントモデリング

+2.2 制御設計

+2.3 ノイズパラメーター解析

+2.4 実機検証 (Rapid Control Prototyping)

+3. まとめ

目次

+1. はじめに

+ 1.1 会社紹介

+ 1.2 研究開発の課題

+2. 本開発について

+ 2.1 プラントモデリング

+ 2.2 制御設計

+ 2.3 ノイズパラメーター解析

+ 2.4 実機検証 (Rapid Control Prototyping)

+3. まとめ

会社概要

京セラ ドキュメントソリューションズ株式会社

創	業	1934年11月		
設	立	1948年7月（三田工業株式会社） 2000年1月18日 京セラミタ株式会社へ社名変更 2012年4月1日 京セラドキュメントソリューションズ株式会社へ社名変更		
資	本	金	120億円〔京セラ（株）100%〕	
売	上	高	3,710億円（連結売上 2018年3月期実績）	
事	業	内	容	モノクロおよびカラーのプリンター・複合機・広幅複合機、ドキュメントソリューション、アプリケーションソフトウェアおよびサプライ製品の製造・販売
グループ従業員数	19,750人（2018年3月末現在）			
グループ会社数	79社（京セラドキュメントソリューションズ株式会社を含む 2018年3月末現在）			

京セラグループの概要

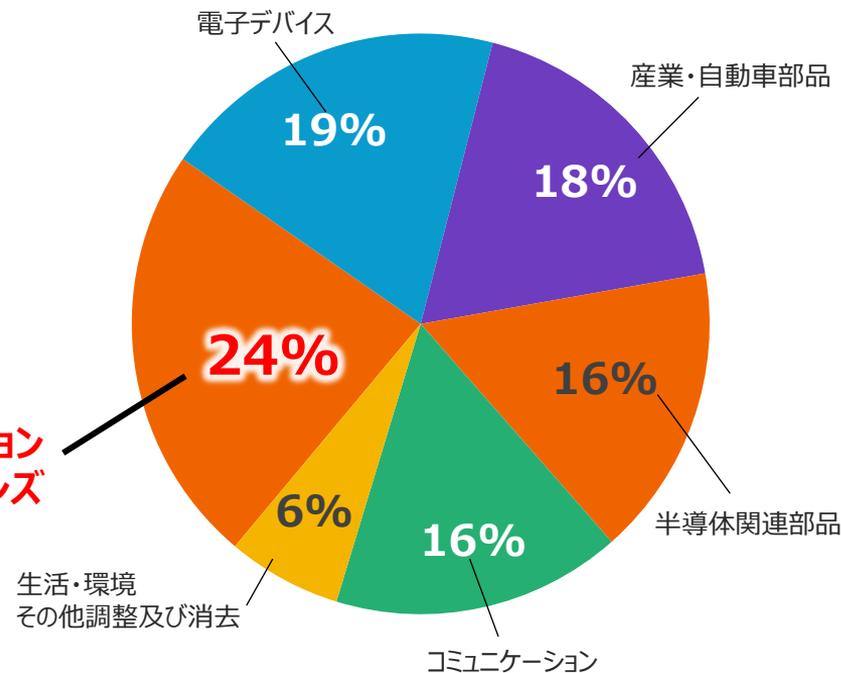
売上高（連結）	1兆5,770億円
当期純利益（連結）	817億円
グループ会社数	265社（京セラ(株)を含む）
グループ従業員数	75,940人 特分法適用子会社、 特分法適用関連会社は除く

売上高、当期純利益は2018年3月期
会社数および従業員数は2018年3月31日現在

ドキュメントソリューション
京セラドキュメントソリューションズ



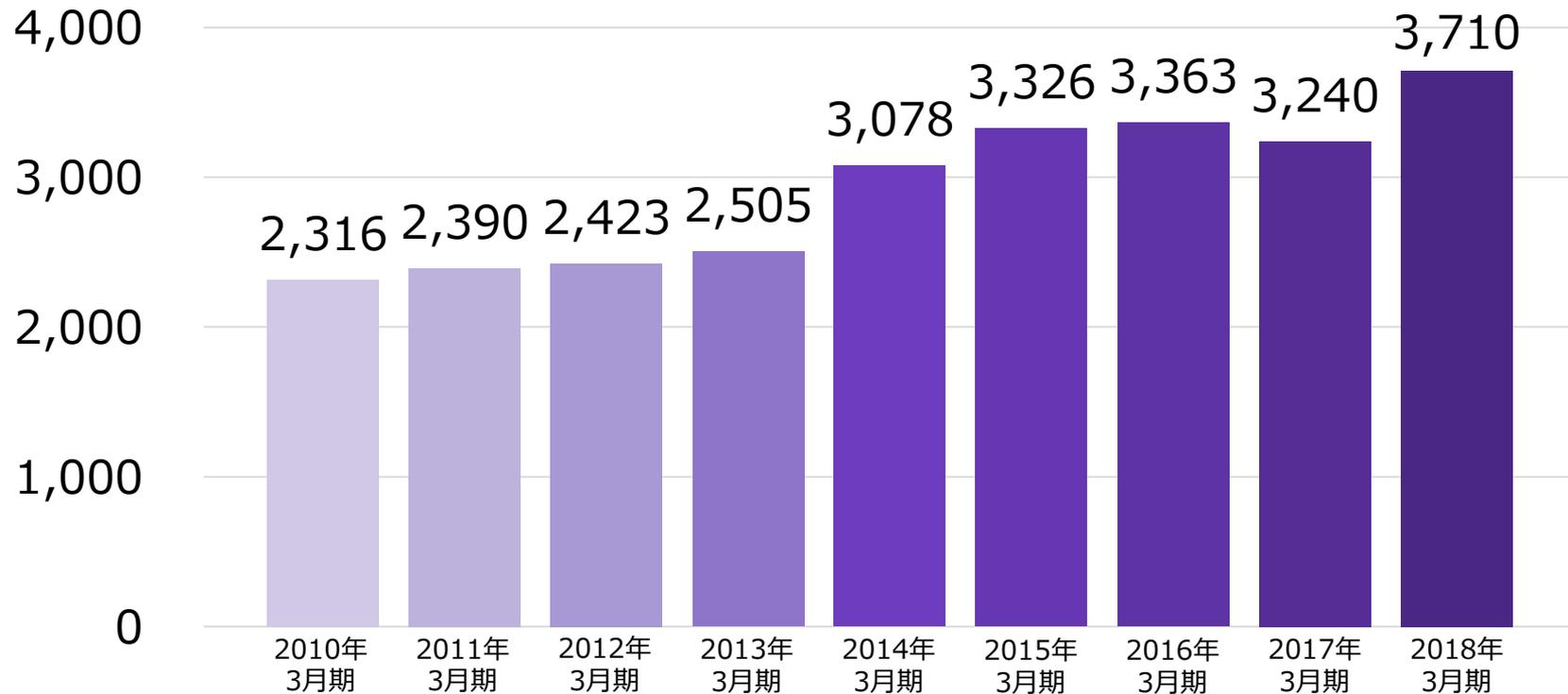
■ 事業セグメント別 売上高構成比 <連結>
(2018年3月期)



京セラドキュメントソリューションズ 売上高の推移（連結）

売上高の推移（連結）

単位：億円



Products

サステナビリティに優れた製品で社会に貢献します



ECOSYS

ECOSYS (エコシス) プリンター

独自のエコシステクノロジーにより、
「環境性」と「経済性」を実現。

TASKalfa 

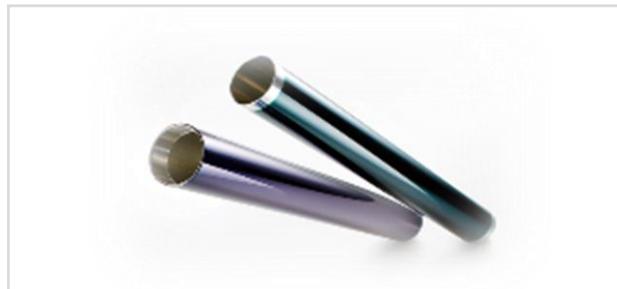
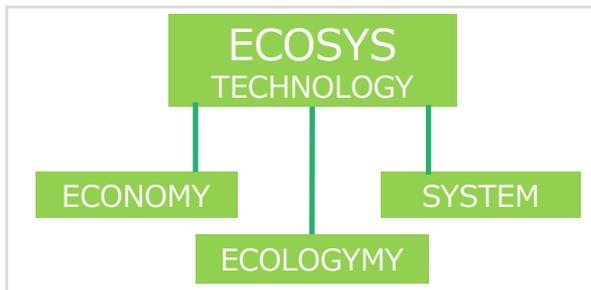
TASKalfa (タスクアルファ) 複合機

全てのTASKalfa複合機に、
当社独自の高信頼性技術が搭載。

Concepts

サステナビリティに優れた製品で社会に貢献します

経済性& 環境性 長寿命技術で環境性と経済性を両立



エコシステクノロジー

- ✓ エコシスコンセプトは、「**エコノミー**」「**エコロジー**」「**システム**」の3つを同時に解決。
- ✓ エコシスプリンターはプリンターでは世界初のドイツ環境規格**ブルーエンジェル**※の認定を受けました。



※ブルーエンジェルマークは、ドイツ連邦環境庁（UBA）が基準を制定した環境ラベル。環境保全についての配慮、高水準な労働安全衛生や使用品質を満たす製品およびサービスへ授与される環境ラベルです。

オンリートナー方式

- ✓ トナー交換時に**周辺パーツの交換は必要なし**。トナー交換だけで使用できるオンリートナー方式を採用。
- ✓ **ランニングコストの削減**（エコノミー）、**廃棄物の削減**（エコロジー）を実現。

a-Si ドラム（アモルファスシリコンドラム）

- ✓ 感光体ドラムに**高硬度アモルファスシリコン（a-Si）**を採用。当社従来品の2倍（約60万ページ）の印刷を可能にしました。

PSLP ドラム

- ✓ 正常電単層OPCドラム：**PSLP**※も製品化。摩耗が進んでも感光体の電気特性が長期間安定し、部品交換なしで約10万ページの印刷が可能。

※PSLP : Positive-charged Single Layer Photoconductor

Solutions

経営課題を個別に解決するトータルドキュメントソリューションを提供

Business Applications



スキャン・配信

紙文書による書類の配布や保存を見直し、
簡便で、デジタル化されたワークフローを実現。



ドキュメント管理

企業内のデジタル化された文書、コンテンツを、
効率的に保存、管理・利用できる環境を提供。



コスト管理・セキュリティー

ドキュメント機器におけるコスト管理、低減手
段の提供。文書に関するセキュリティーの確保。



出力管理

様々なシステムからでも、ビジネス文書や帳票
を印刷できる環境を提供。



ネットワークデバイス管理

ネットワーク接続されたドキュメント機器をリ
モートで管理、監視、最適設定。



モバイル・クラウドソリューション

最新のモバイルやクラウド環境においても、高
機能なデジタル化文書の入出力を実現。

目次

+1. はじめに

+ 1.1 会社紹介

+ 1.2 研究開発の課題

ここまで
私たちの会社についての紹介

+2. 本開発について

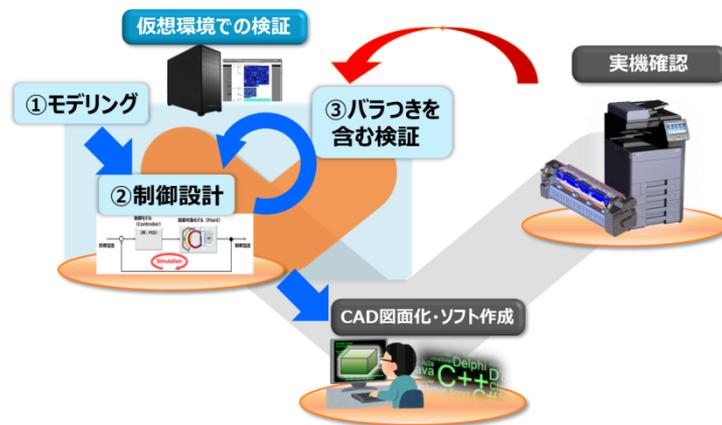
+ 2.1 プラントモデリング

+ 2.2 制御設計

+ 2.3 ノイズパラメーター解析

+ 2.4 実機検証 (Rapid Control Prototyping)

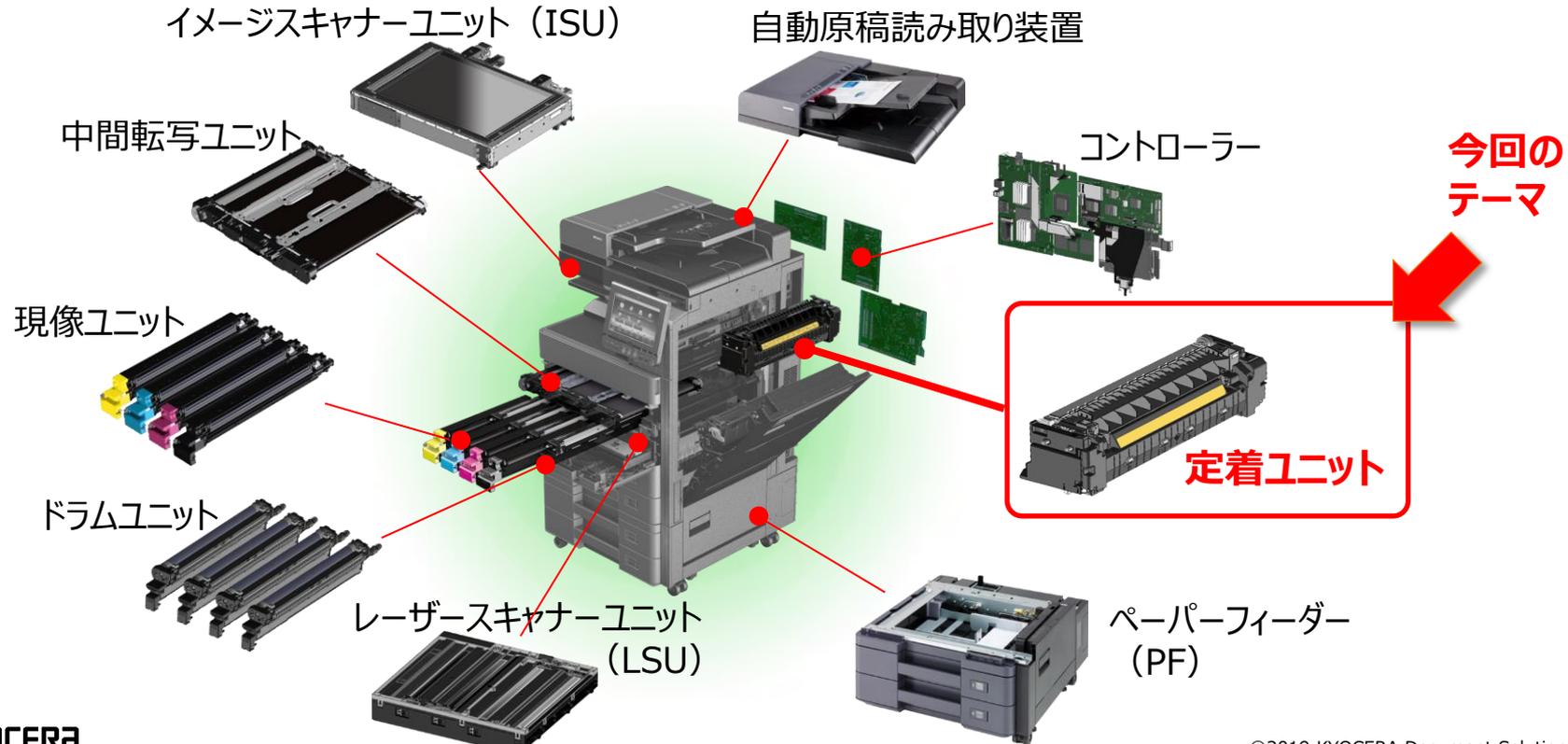
+3. まとめ



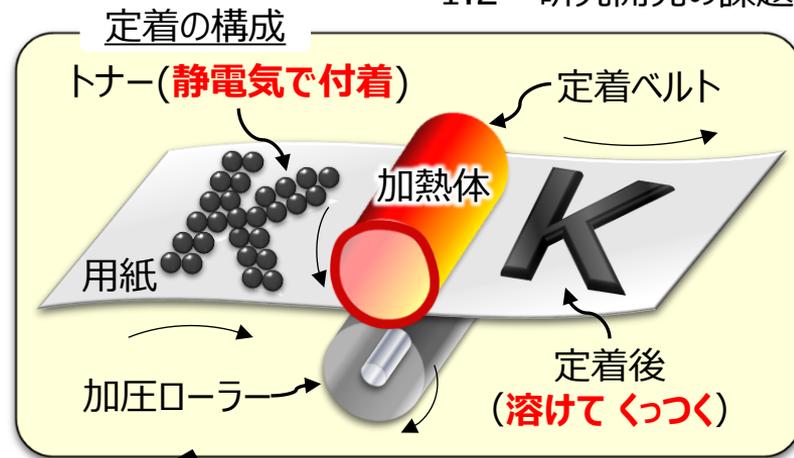
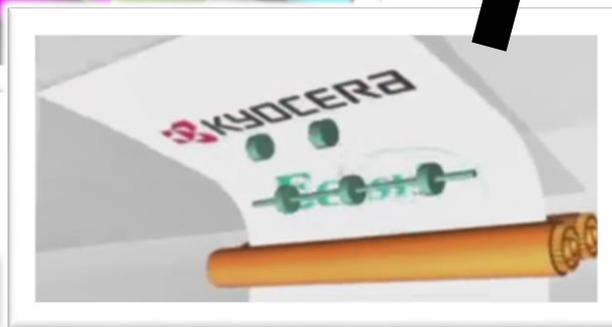
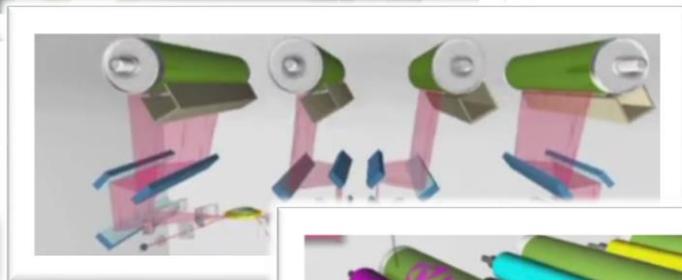
電子写真方式のプリンターの内部ユニット

↑ オフィスのプリンターに広く使われている技術

メカ、ハードウェア、ソフトウェア、電子写真プロセス（電磁気など）技術の集合体



電子写真プリンターのメカニズム



定着の熱制御設計の課題

+外乱要素が多いシステム

+用紙（ユーザー・環境依存）、トナー（粉体）

+多様な技術のすり合わせで成り立つシステム

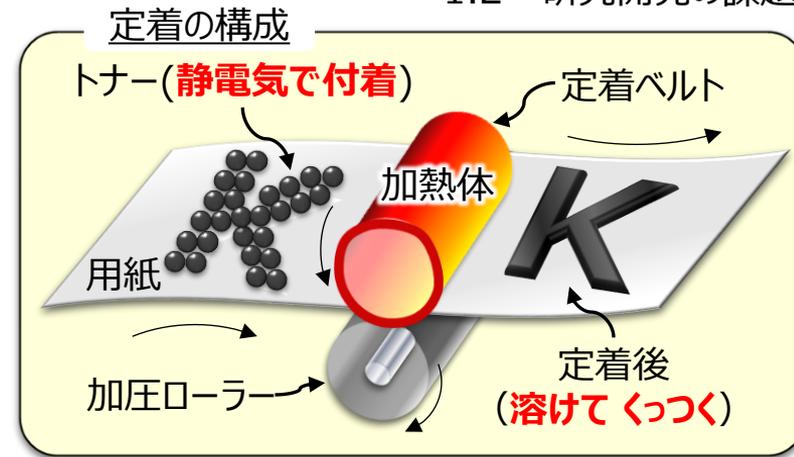
（電磁気学・粉体工学・熱工学・材料技術など、etc...）

→システムの複雑化に伴い、開発工数が増加

+設計のフロントローディングに取り組む

+開発の上流で、1D-simulationレベルの制御設計をしたい

→MATLAB®を選択

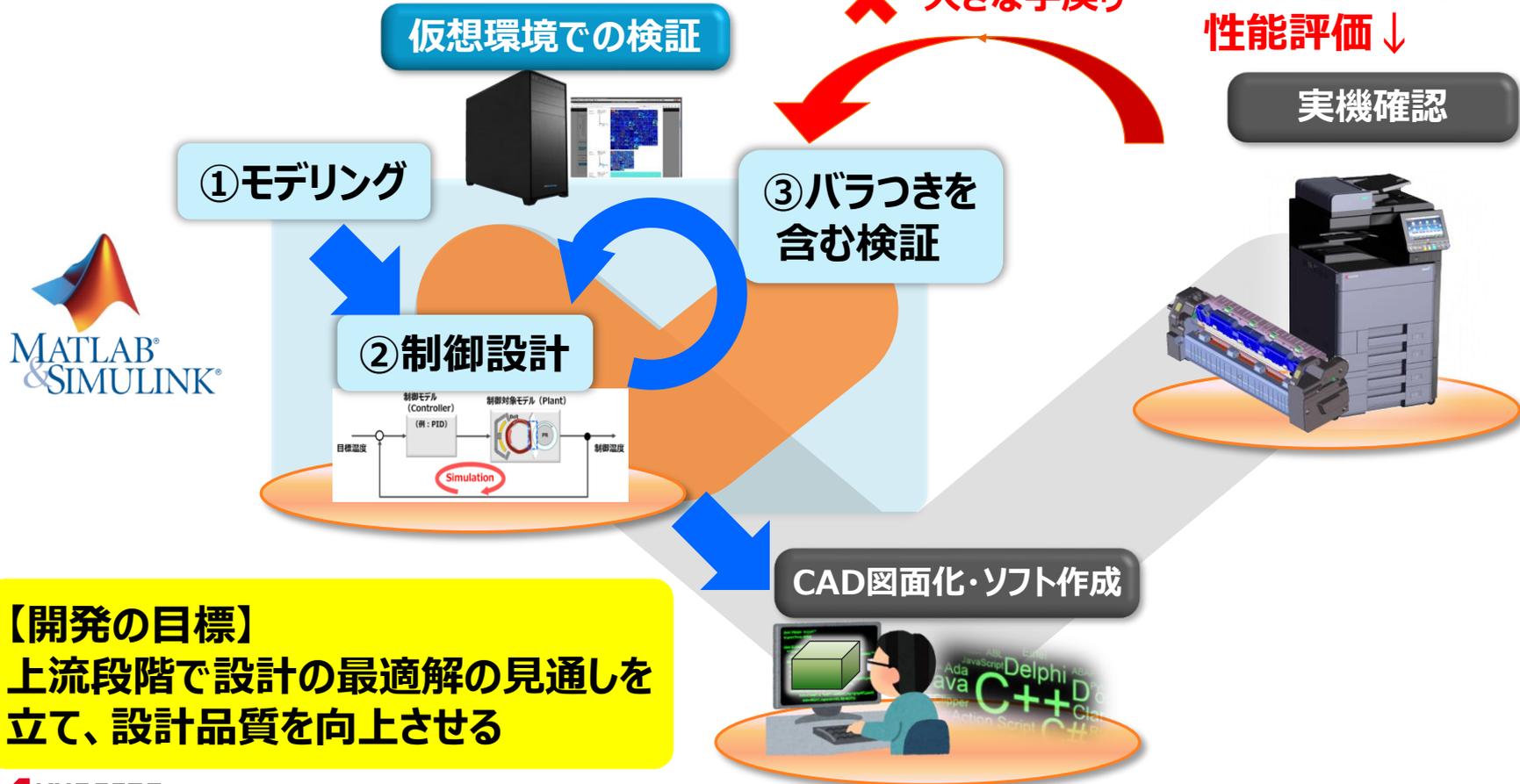


熱制御設計

製品への影響

- ・省エネ仕様
- ・印刷の画質

開発フローでの位置づけ



目次

+1. はじめに

+ 1.1 会社紹介

+ 1.2 研究開発の課題

ここまで
定着ユニットの熱制御設計に
モデルベースデザインを適用する

+2. 本開発について

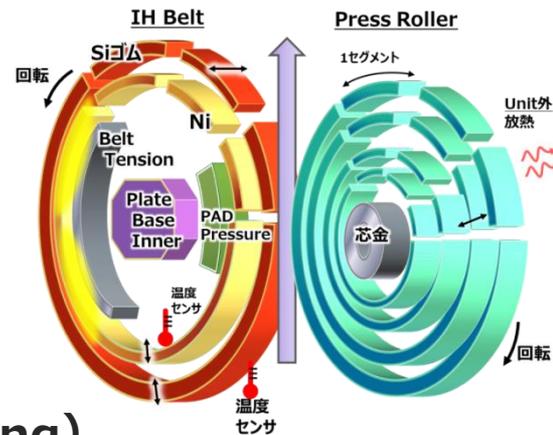
+ 2.1 **プラントモデリング**

+ 2.2 制御設計

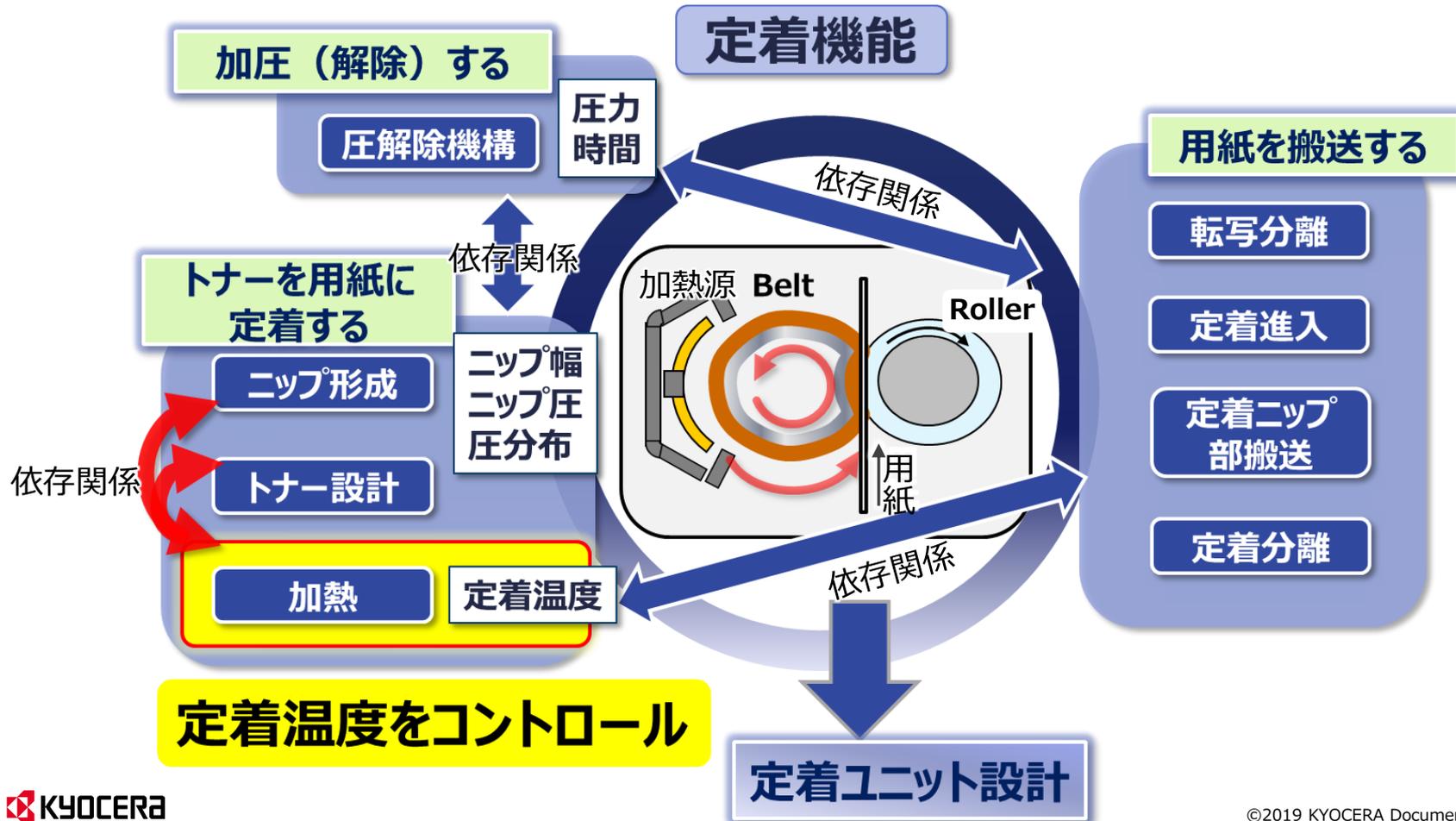
+ 2.3 ノイズパラメーター解析

+ 2.4 実機検証 (Rapid Control Prototyping)

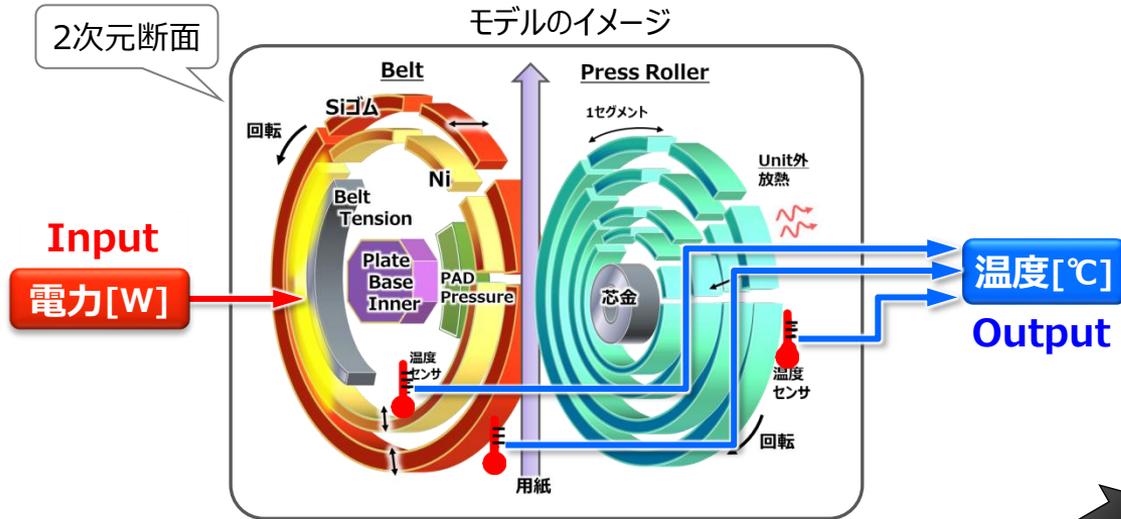
+3. まとめ



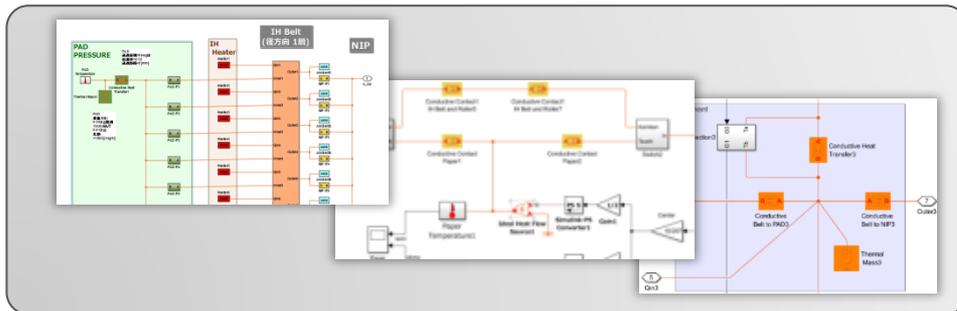
設計対象を機能に分割



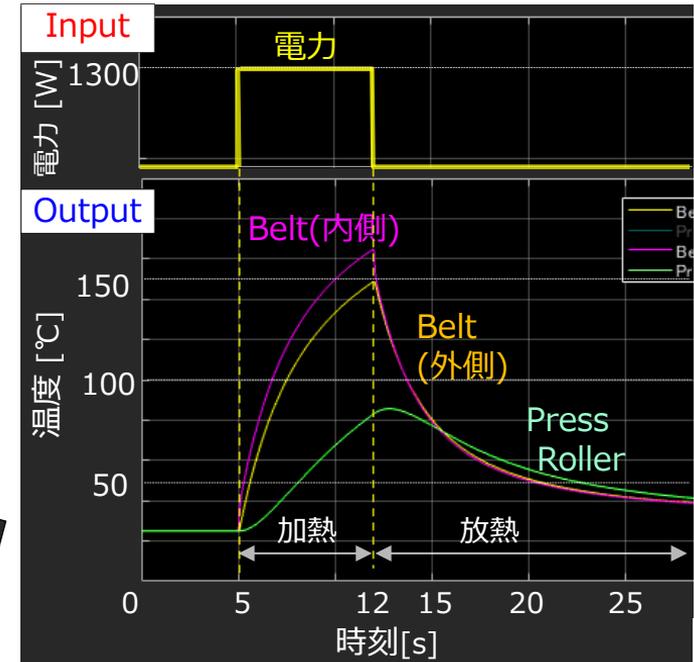
プラントモデルの詳細



Simulink®/Simscape® モデル実装



ステップ状の電力応答の結果



モデルの単純な応答を確認 ↑

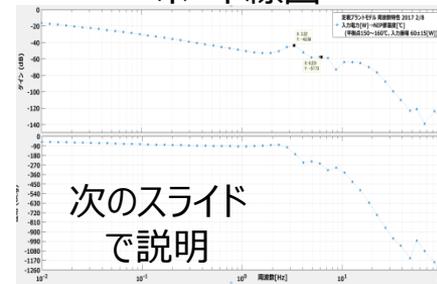
モデルはどのくらい正しいのか？
⇒ 定量的に見てみたい

プラントモデルの同定

→モデルの周波数特性を比較

Sim実行結果

ボード線図

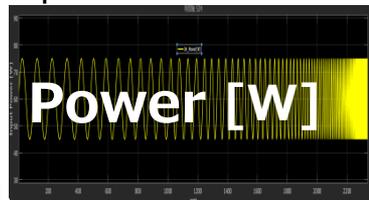


仮想環境 (PC上)



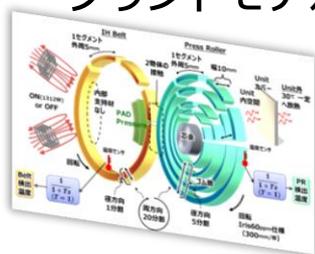
frestimate()...

Input

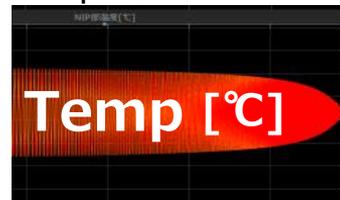


sine wave

プラントモデル



Output



実測環境 (治具)

測定ユニット

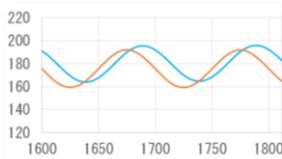
同じ条件で周波数解析

結果を比較

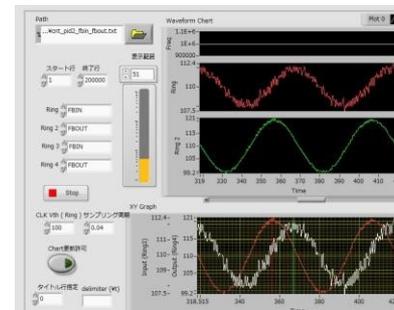
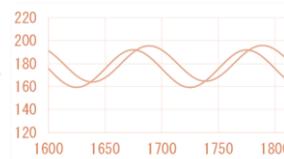
測定結果



Power [W]

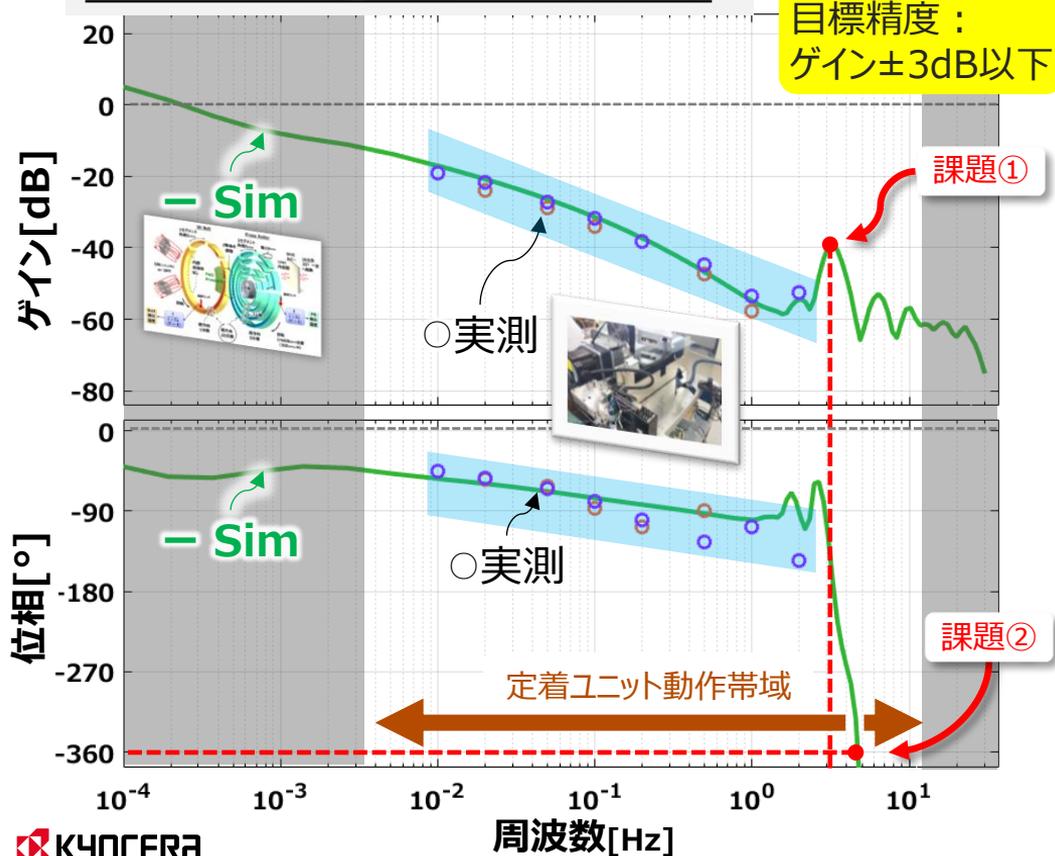


Temp [°C]

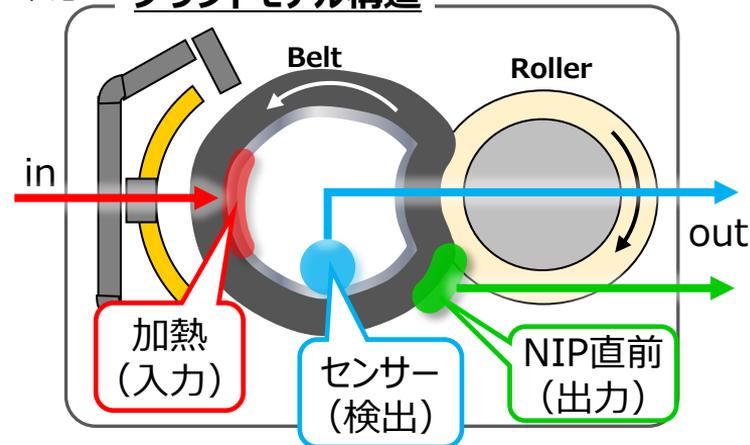


プラントモデル同定と制御課題の予測

「Sim と実測」を重ねて比較する



プラントモデル構造



■ 課題

- ① 高周波域のゲインピーク
→ ゲイン余裕の不足
- ② 位相が -360° 回る
→ むだ時間系

etc...

モノづくり前に制御課題の予測ができた

目次

+1. はじめに

+ 1.1 会社紹介

+ 1.2 研究開発の課題

ここまで

プラントモデルを作成し、制御設計の準備が整った

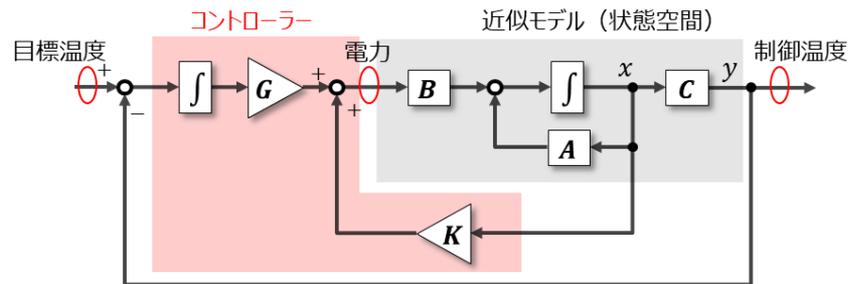
+2. 本開発について

+ 2.1 プラントモデリング

+ **2.2 制御設計**

+ 2.3 ノイズパラメーター解析

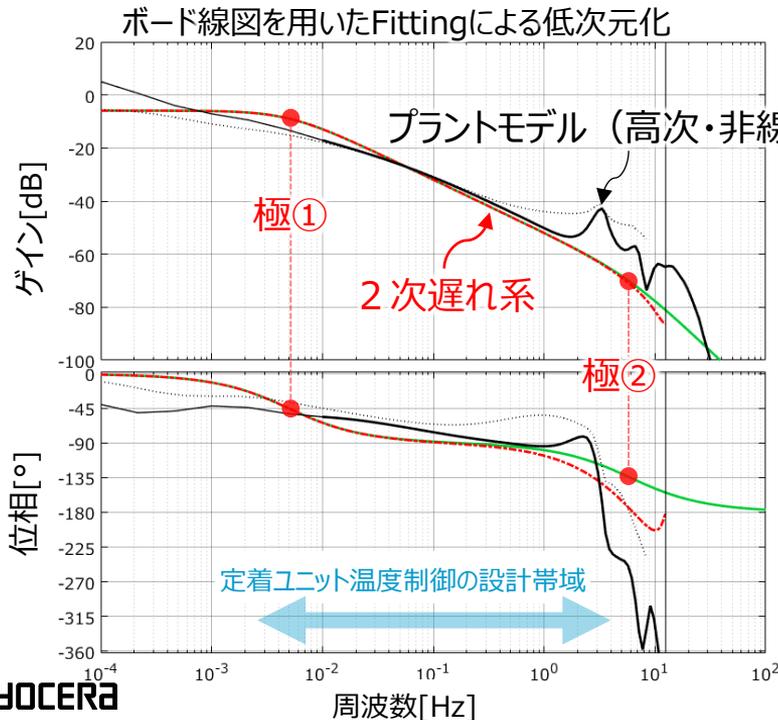
+ 2.4 実機検証 (Rapid Control Prototyping)



+3. まとめ

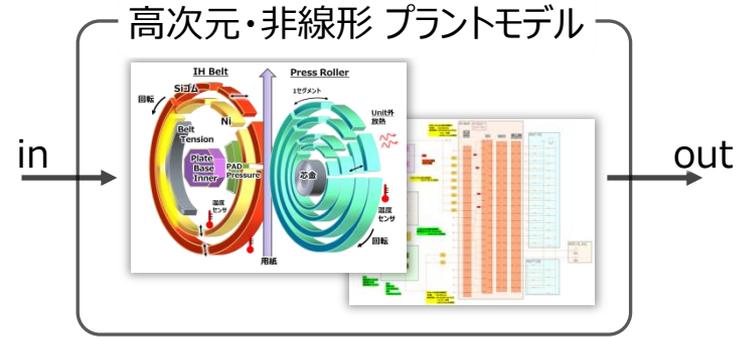
プラントモデルの低次元・線形化

- 制御アルゴリズム ⇒ 現代制御でゲイン設計する
積分型LQRを用いる
- プラントモデルは、高次元・非線形 ⇒ 2次遅れ系に近似
近似した線形モデルで、コントローラー設計を行う

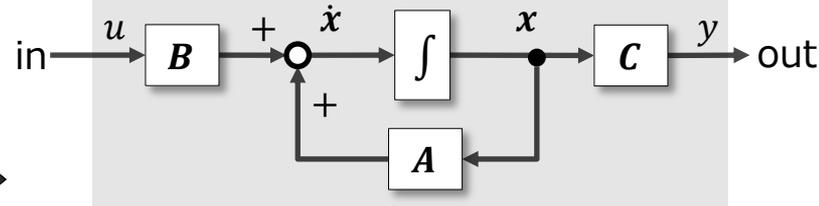


ボード線図
で比較

伝達関数から
状態空間へ



状態空間モデル



$$\begin{cases} x_{k+1} = A_d x_k + B_d u \\ y_k = C_d x_k \end{cases}$$

フィードバック系の設計

積分型LQRとフィルタリングで安定した制御を実現

評価関数

$$J_{\min} = \int_0^{\infty} [\hat{x}^T Q \hat{x} + u^T R u] dt$$

状態空間モデル

$$\begin{cases} x_{k+1} = A_d x_k + B_d u \\ y_k = C_d x_k \end{cases}$$

積分型LQR

⇒理論上「位相余裕 $\geq 60^\circ$ 」

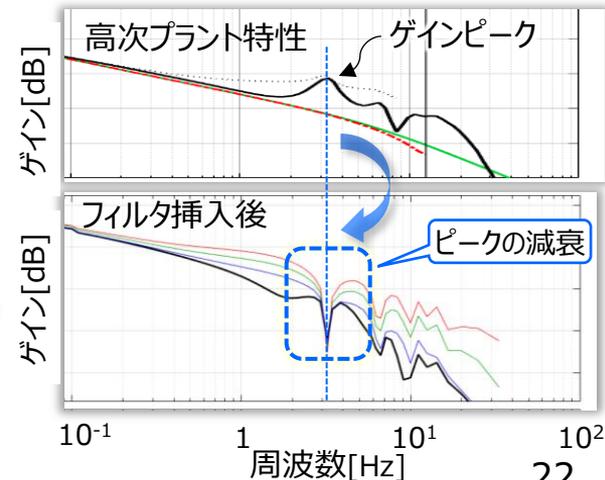
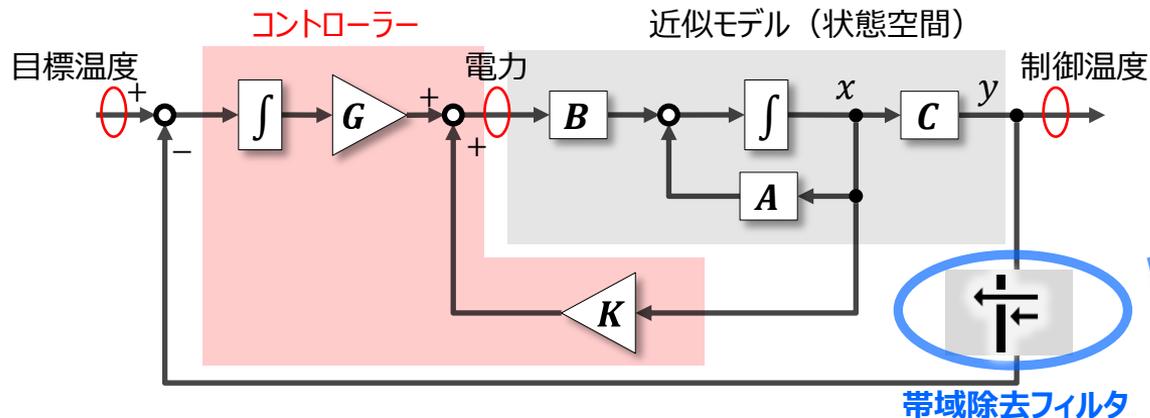
ただし、定着熱モデルは非線形

↓
さらに制御の妥当性の確認が必要

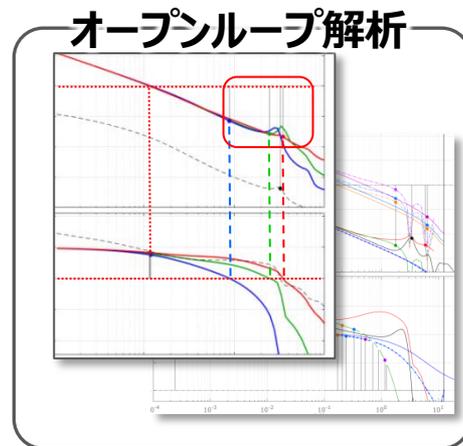
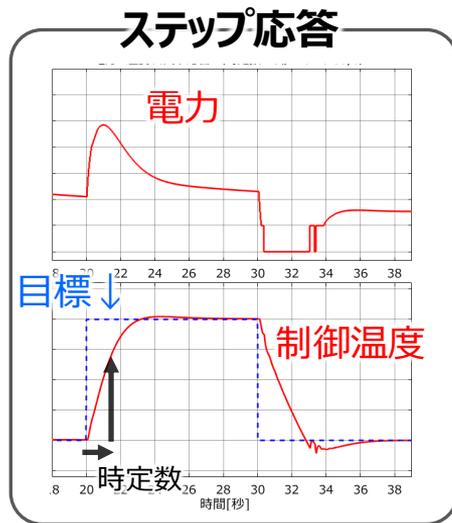
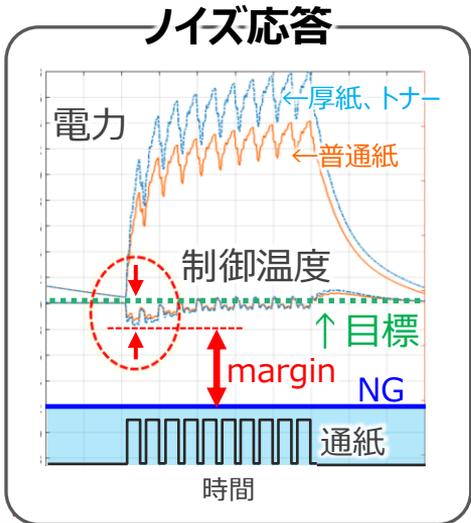
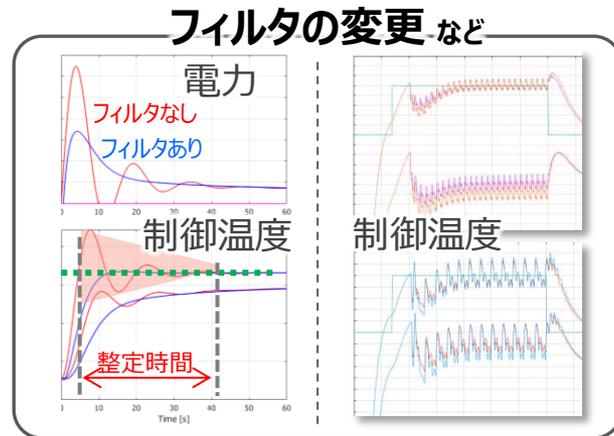
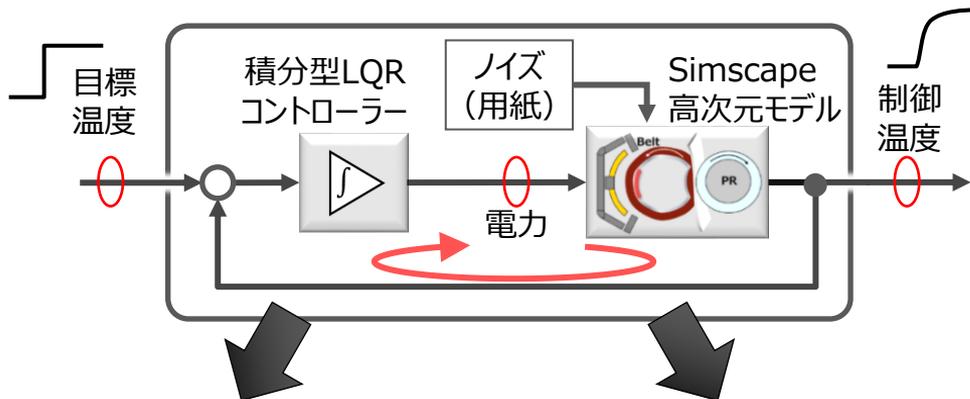
$dlqr()$...

Riccati 方程式を
解いて、ゲイン算出

低次元化した
モデル



プラントと制御系を繋げた統合SIM



プラントの特性やノイズに対する制御性能を可視化

→制御の妥当性を確認できた

目次

+1. はじめに

+ 1.1 会社紹介

+ 1.2 研究開発

ここまで

仮想環境で安定した制御の設計・性能の確認ができた

しかし、実物の定着ユニットには、部品やアセンブリの個体差がある

+2. 本開発について

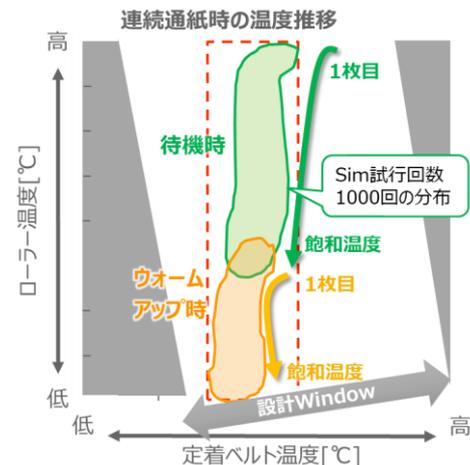
+ 2.1 プラントモデリング

+ 2.2 制御設計

+ 2.3 **ノイズパラメーター解析**

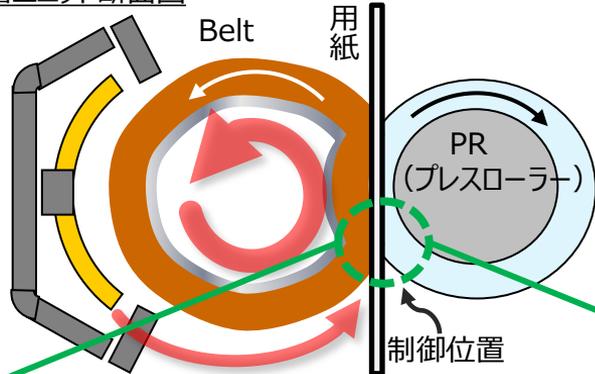
+ 2.4 **実機検証 (Rapid Control Prototyping)**

+3. まとめ



モンテカルロ法による解析

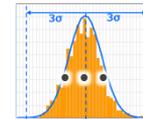
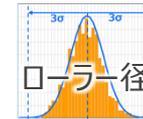
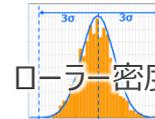
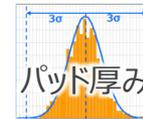
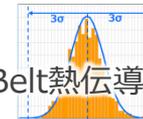
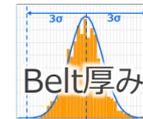
定着ユニット断面図



モデルに対して、ユニットのパラメーターに分布を与える
 ⇒パラメータの変化による影響をモンテカルロシミュレーション
 を行うことで解析する

パラメーター
の設定

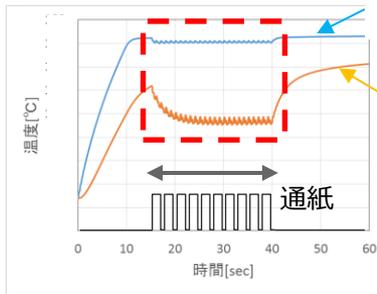
パラメーター分布



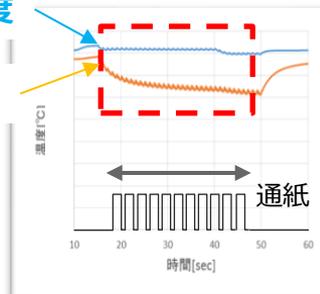
センター値 : ノミナル値
 分布 : ガウス分布
 各パラメーター 1000通りに乱数生成

simシナリオ

①ウォームアップ



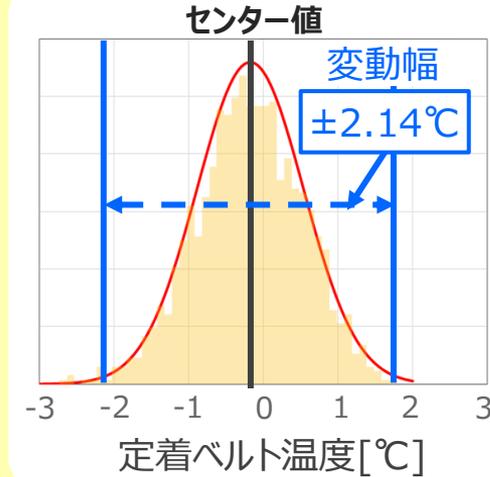
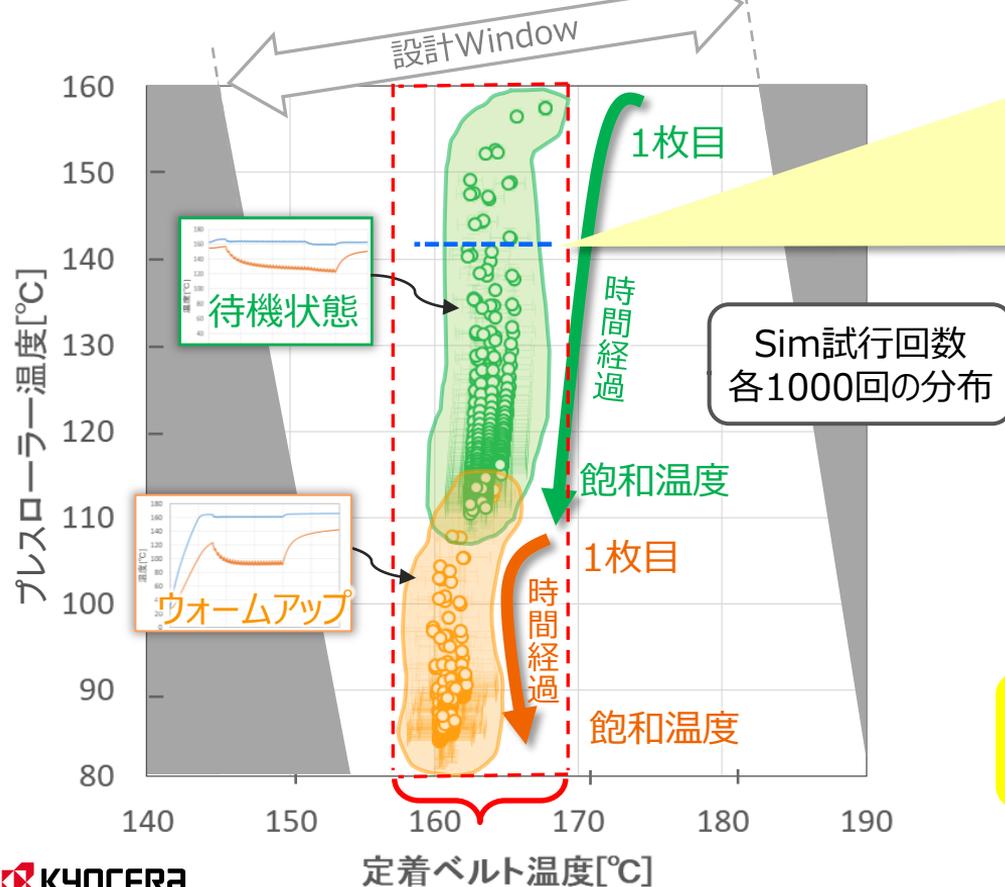
②待機状態



2通りのシナリオで、各1000回のモンテカルロシミュレーションを行う

モンテカルロシミュレーション結果

各シナリオの温度推移 (1000回分)



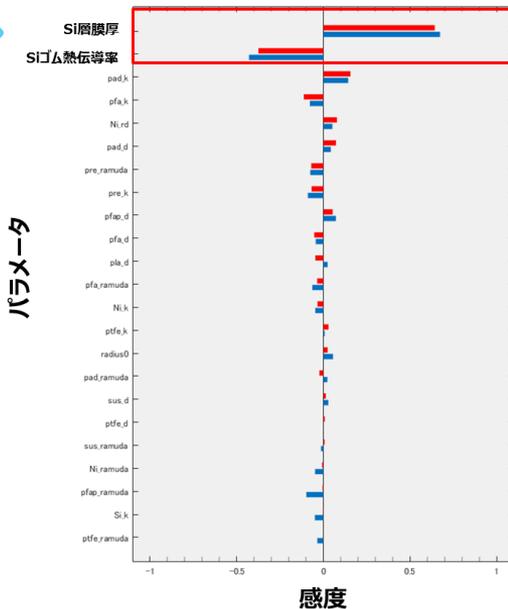
特定タイミングにおける
定着温度変化幅の確認

定着ユニットの部品パラメーター変化による
制御温度のばらつきを確認できる

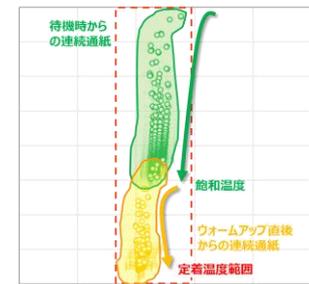
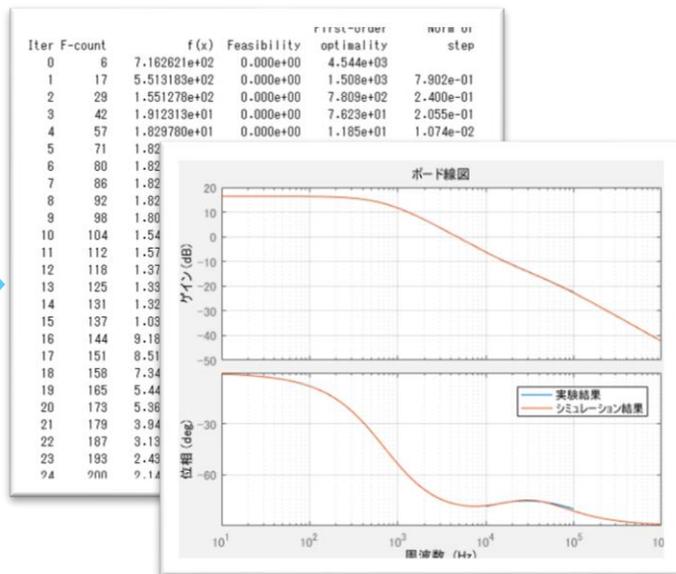
その他の解析

定着温度に影響を与えるパラメータの特定

感度解析 立ち上がり時間



パラメータの最適化



モンテカルロ
シミュレーション

感度の高いパラメーターを特定

最適なパラメーターの探索

目次

+1. はじめに

+ 1.1 会社紹介、自己紹介

+ 1.2 研究開発の課題

ここまで

定着ユニットのパラメーター変化による
制御温度のばらつきを確認できた

+2. 本開発について

+ 2.1 プラントモデリング

+ 2.2 制御設計

+ 2.3 ノイズパラメーター解析

+ **2.4 実機検証 (Rapid Control Prototyping)**



+3. まとめ

制御ロジックをリアルタイムHWに実装

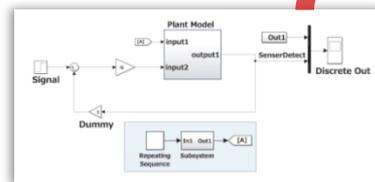
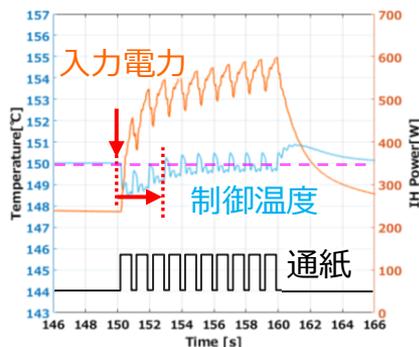
仮想環境

Sim 設計

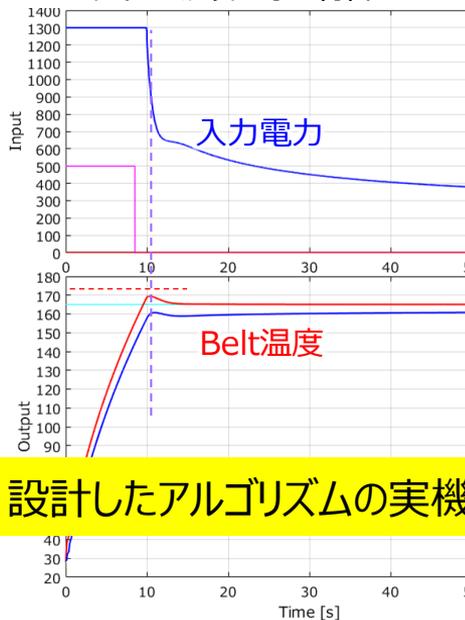


測定例

連続通紙時の制御



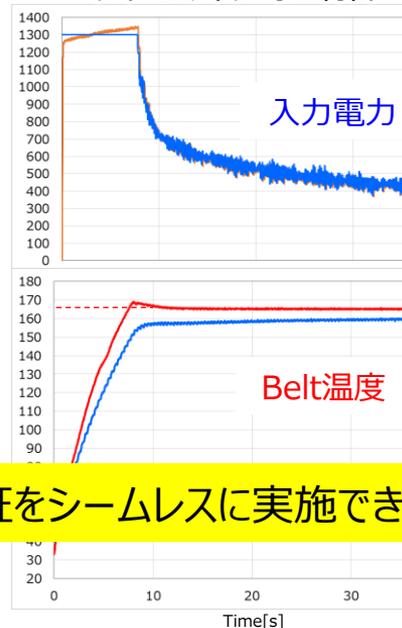
ウォームアップ時の制御



Embedded Coder®



ウォームアップ時の制御



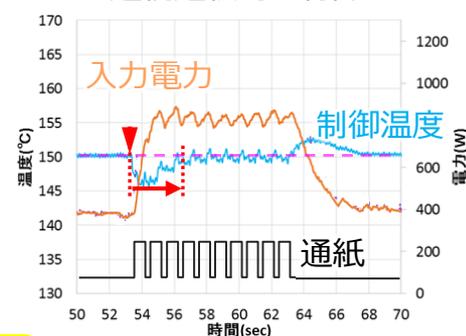
実機環境

測定・検証



リアルタイムHWボード

連続通紙時の制御



設計したアルゴリズムの実機検証をシームレスに実施できた

目次

+1. はじめに

+1.1 会社紹介

+1.2 研究開発の課題

+2. 本開発について

+2.1 プラントモデリング

+2.2 制御設計

+2.3 ノイズパラメーター解析

+2.4 実機検証 (Rapid Control Prototyping)

+3. まとめ

まとめ

- +設計のフロントローディングのために、定着ユニットの温度制御にMBDを適用した
 - +定着ユニットの熱伝搬を表すプラントモデルを作成し、最適制御を設計した
 - +プラントモデルと制御ロジックを組み合わせて、統合simを実施した
 - +通紙ノイズや部品ばらつきに対する制御のロバスト性を確認した
 - +制御ロジックをリアルタイムHWにシームレスに実装し、検証した
-
- +設計の上流において、仮想環境上での制御設計と、機能や性能の解析が可能になった**

END

