

半導体製造の熱処理成膜装置における 温度制御へのModel-Based Design適用事例

2022年5月25日

Tatsuya Yamaguchi

Group Leader

熱制御技術部 / 東京エレクトロン テクノロジーソリューションズ株式会社



アジェンダ

- 会社/製品紹介
- 製品開発ワークフロー：事例紹介①
- MBD課題の共有：事例紹介②
- まとめ
- 質疑応答

会社 / 製品紹介

会社概要

設立：1963年11月11日

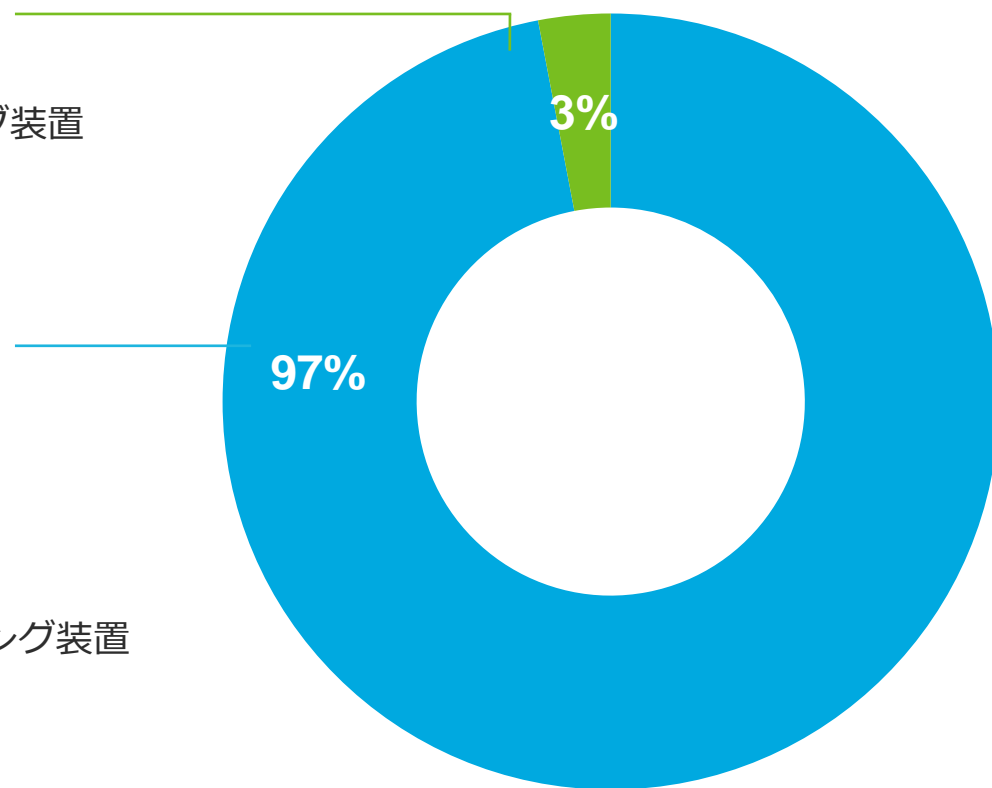
従業員数：15,634名 (2022年3月31日現在)

FPD製造装置

FPDコータ/デベロッパ
FPDプラズマエッチング/アッシング装置
FPDインクジェット描画装置

半導体製造装置(SPE)

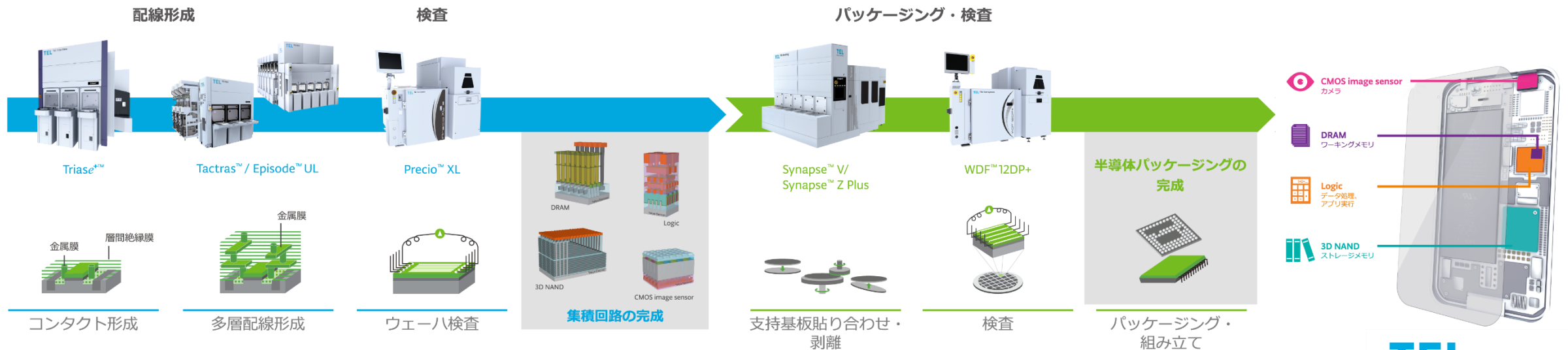
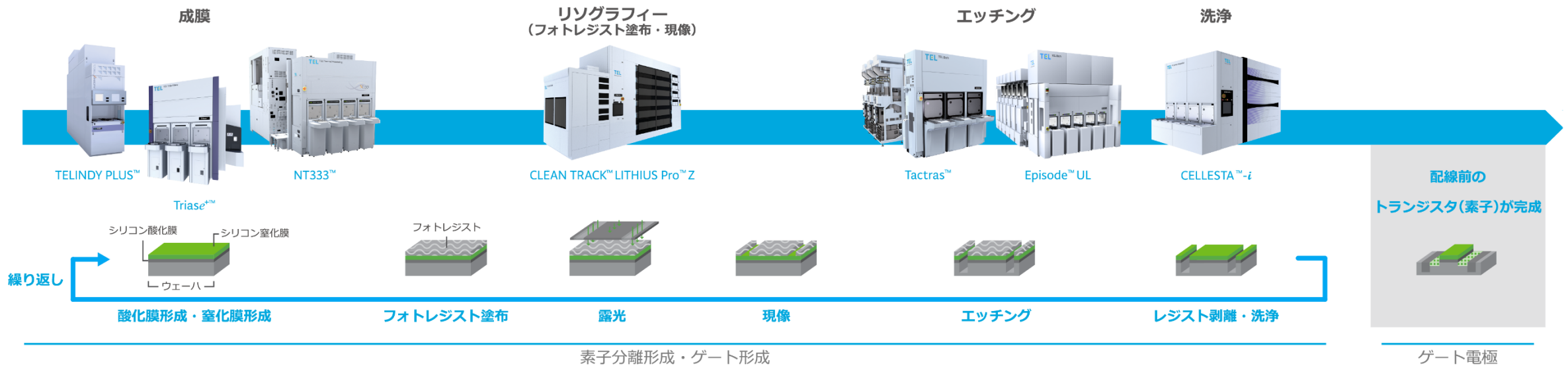
コータ/デベロッパ
ドライエッチング装置
成膜装置
洗浄装置
ウェーハプローバ
ウェーハボンディング/デボンディング装置
その他



事業分野別 売上高構成比
2022年3月期連結売上高: 20,038億円

半導体製造プロセス



■ ウェーハ処理プロセス(前工程) ■ 検査・組み立てプロセス(後工程)



国内主要拠点

(2022年5月12日現在)

フィールドエンジニアリング拠点: 12

	営業/フィールドサービス
	R&D/製造/技術



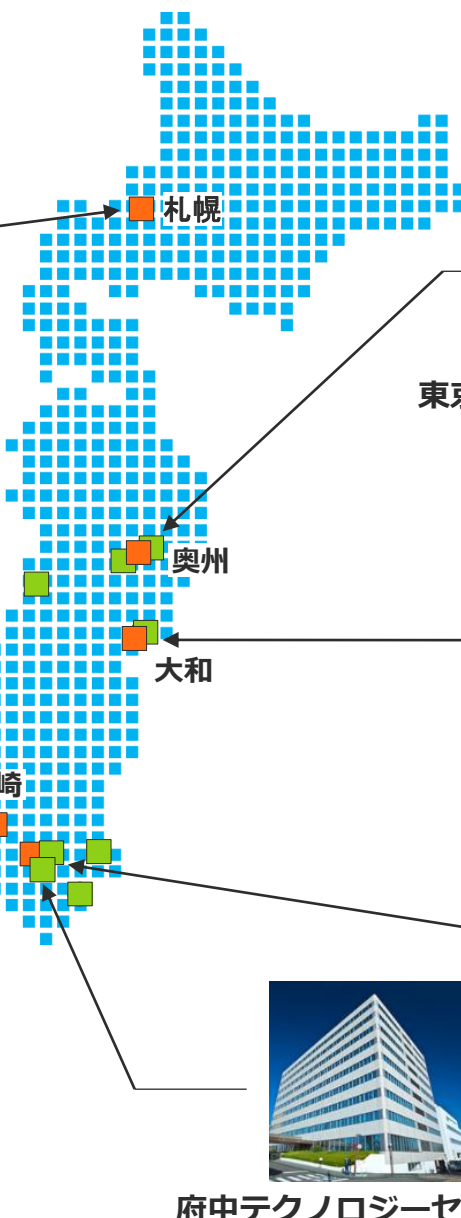
東京エレクトロン九州
熊本 (合志/大津)



東京エレクトロン
テクノロジーソリューションズ
蕨崎 (藤井/穂坂)



TEL デジタル デザイン スクエア



東京エレクトロン テクノロジーソリューションズ
岩手 (奥州)



東京エレクトロン宮城



東京エレクトロン本社



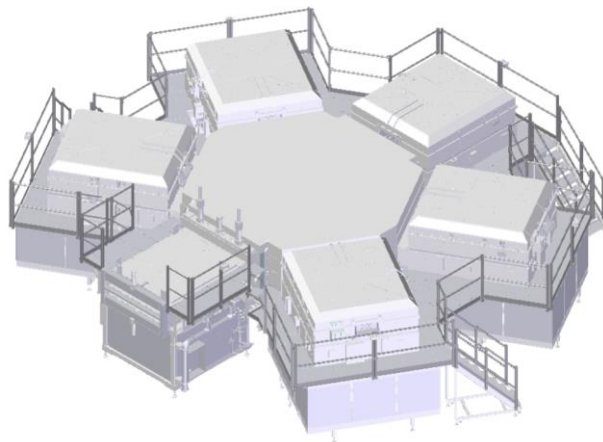
府中テクノロジーセンター

東京エレクトロン テクノロジーソリューションズ株式会社

- ◆ 設 立 : 1983年7月1日(山梨事業所設立)
- ◆ 代 表 者 : 代表取締役社長 佐々木 貞夫
- ◆ 主要事業 : 熱処理成膜装置・枚葉成膜装置・ガスケミカルエッチング装置・テストシステム、FPDプラズマエッチング/アッシング装置の開発・製造



枚葉成膜装置
Triase+™



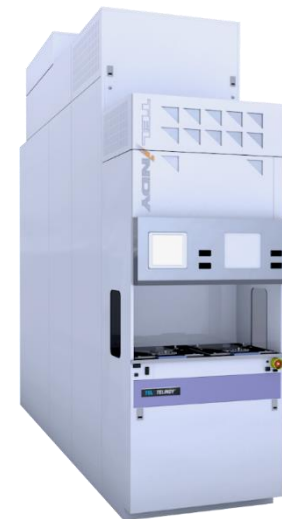
FPDプラズマエッチング/アッシング装置
Betelex™



テストシステム
Precio™XL

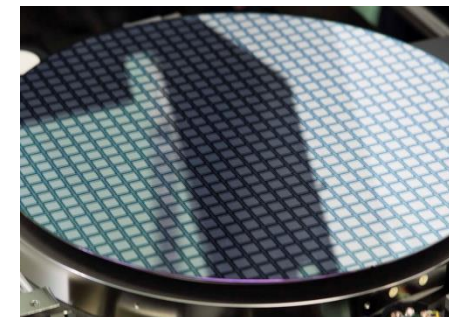
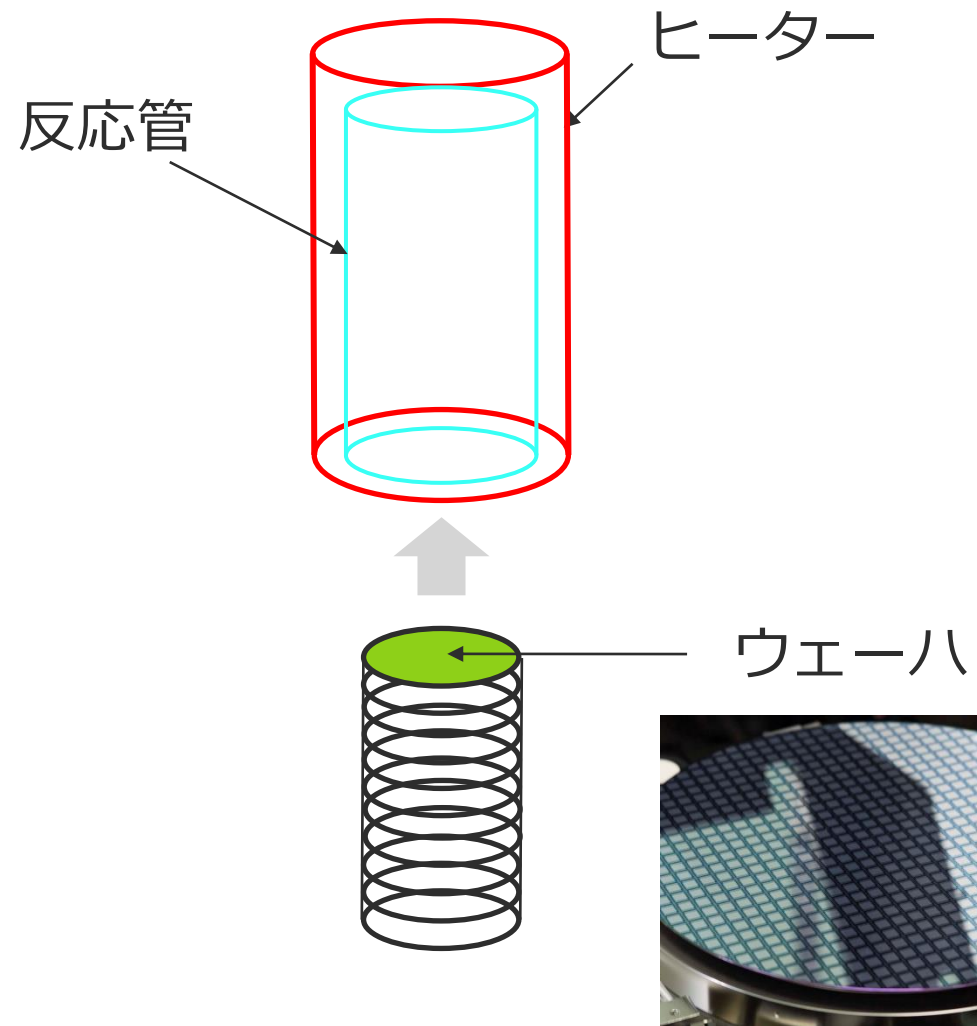
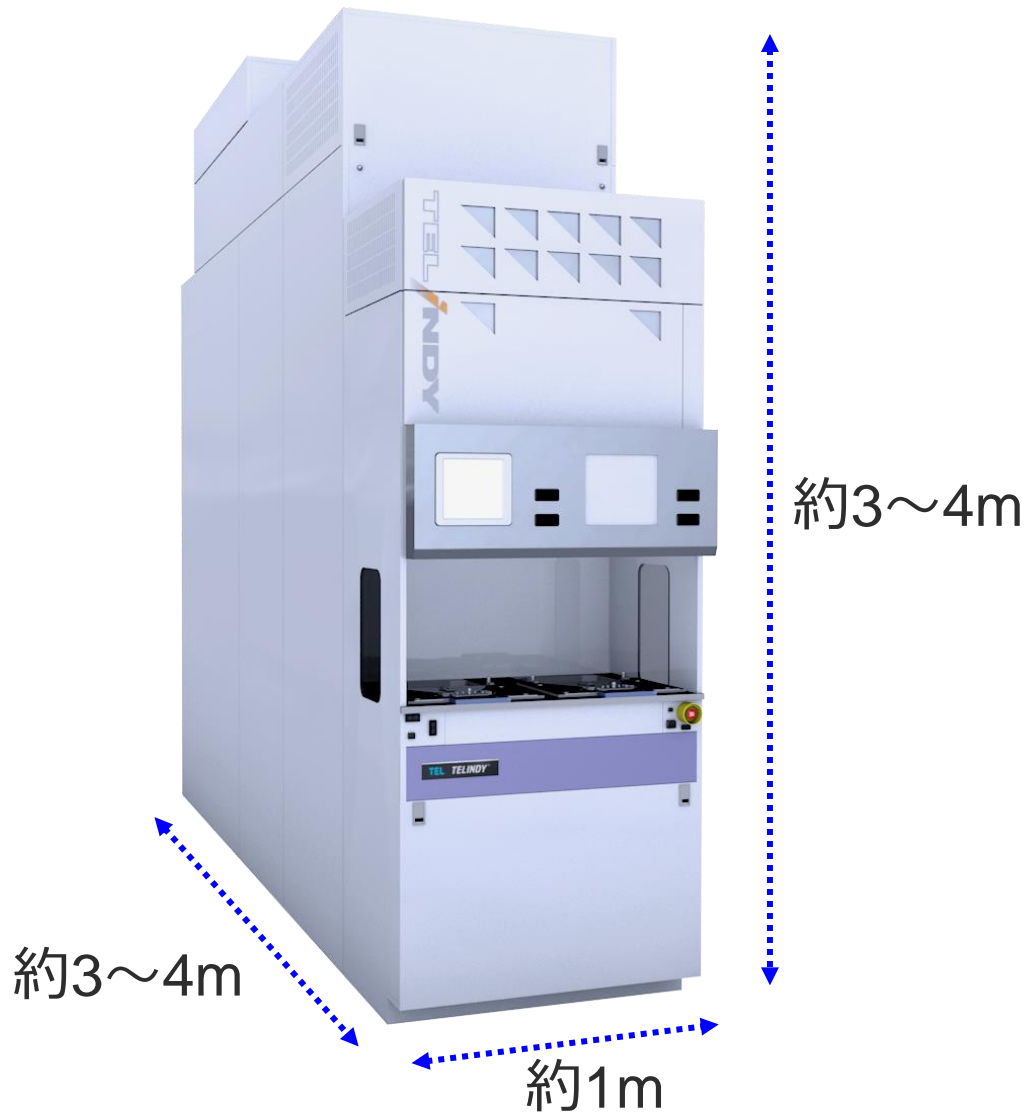


セミバッチ式成膜装置
NT333™

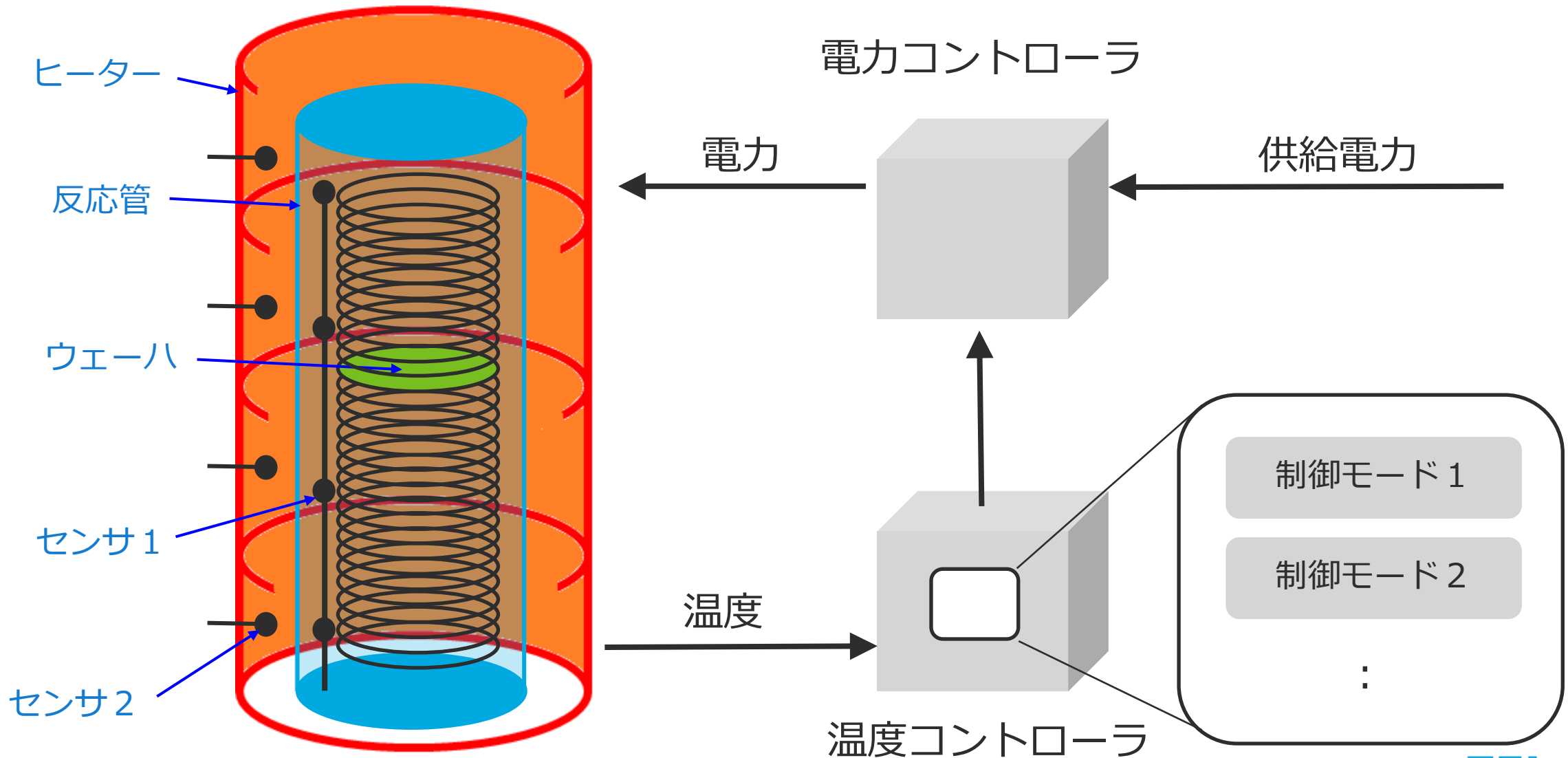


バッチ式熱処理装置
TELINDY PLUS™

熱処理成膜装置 製品概要

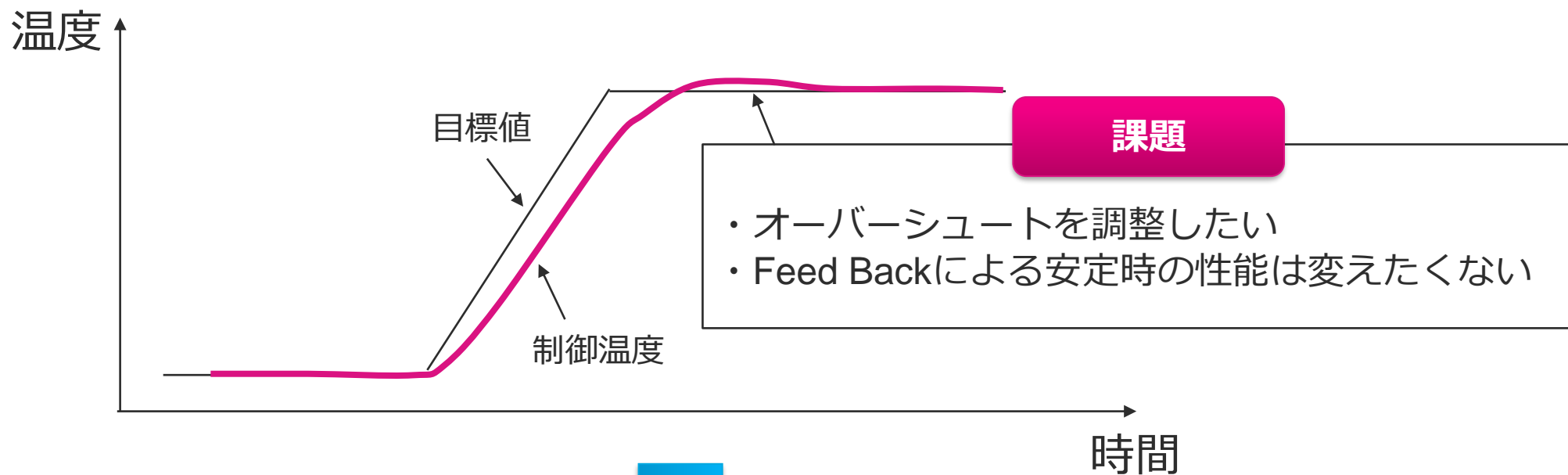


熱処理成膜装置の温度制御系



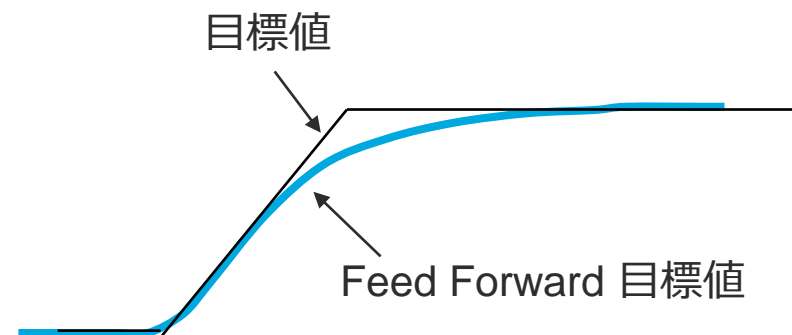
製品開発のワークフロー：事例紹介①

事例紹介① : Feed Forward制御 目標値フィルタ

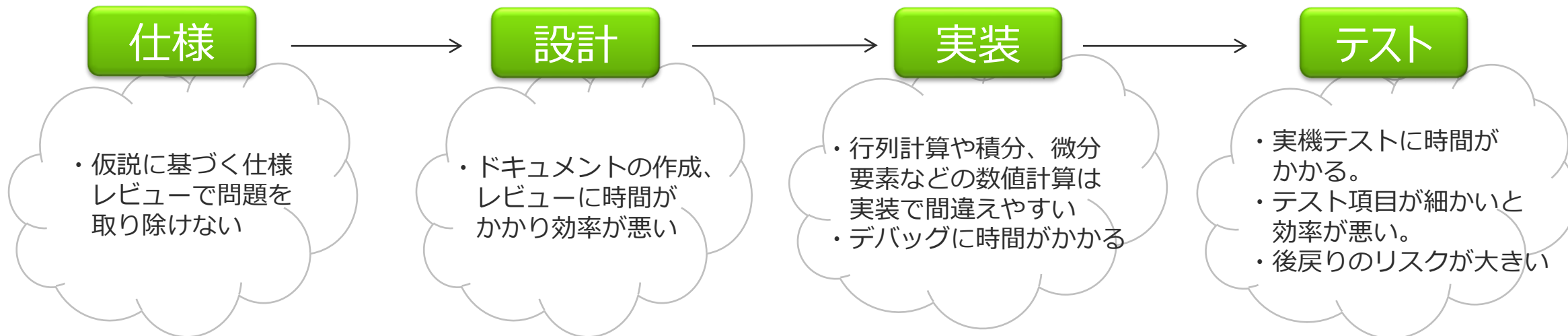


仮説に基づく仕様

目標値にフィルタを用いて内部的に目標値を曲線状に変換しオーバーシュートの微調整を行う Feed Backの性能には影響しない

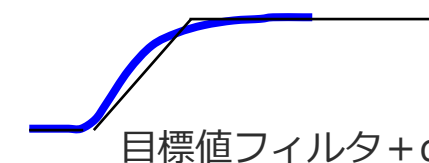
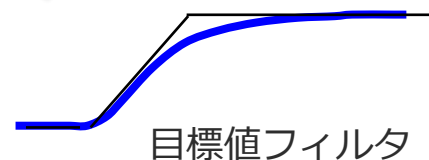


従来の制御ソフト開発フロー

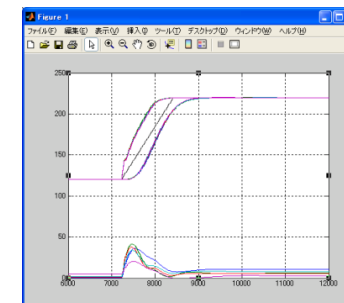


※仕様の段階から時間をかけて検討を行うが、制御アルゴリズムの場合は動かしてみないと分からないことが多い。**動かすまでに時間がかかることは致命的**

Total で 数ヶ月はかかる

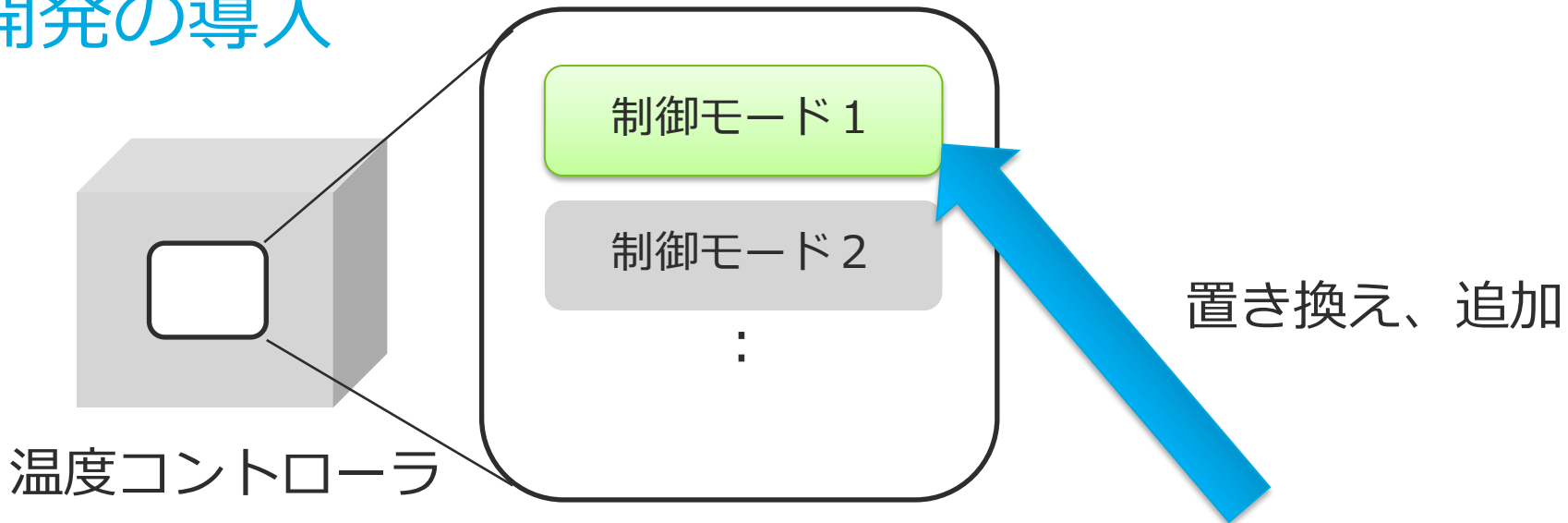


最初のサイクルを回すだけでも 1ヶ月はかかる

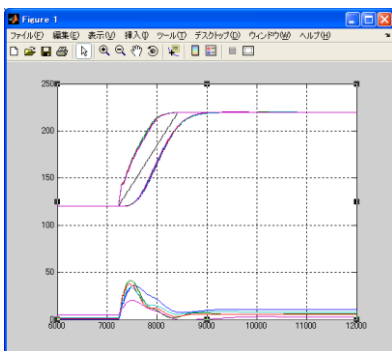


モデルベース開発の導入

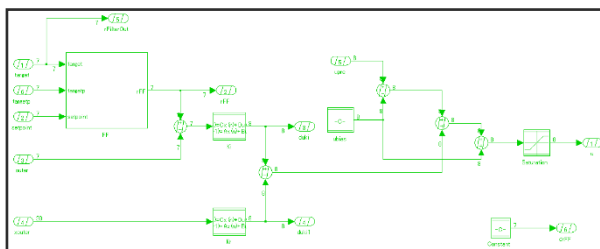
導入しやすいように
適用範囲を限定する



①シミュレーションの活用



モデルと制御ブロックを用いた
シミュレーションで検証



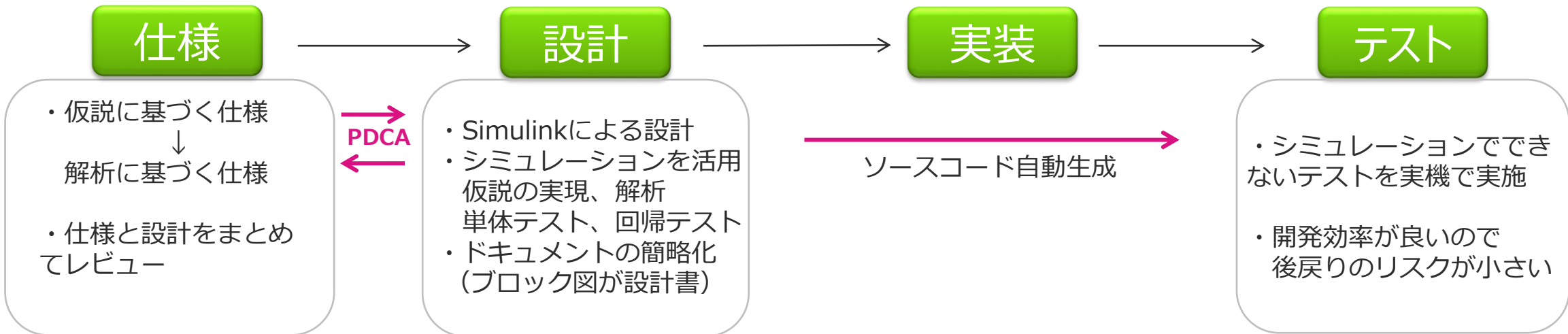
Simulinkによる制御ブロックの作成

②ソースコードの自動生成

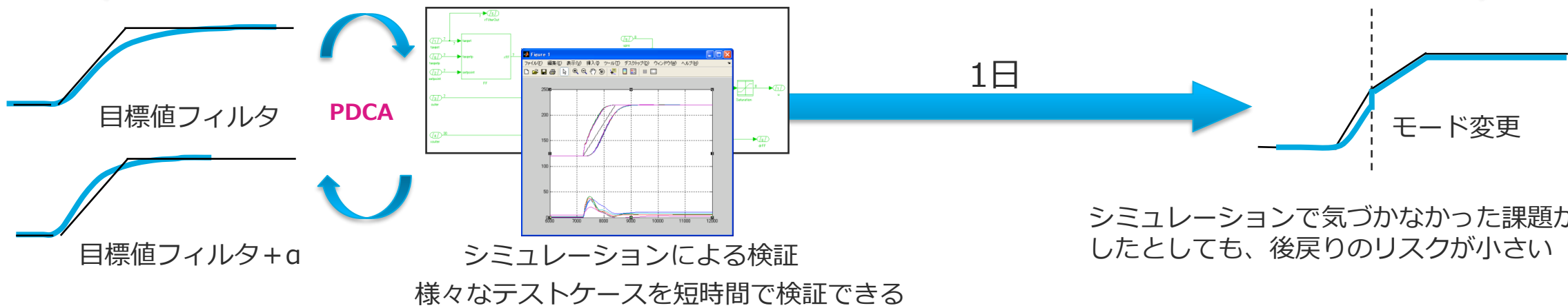
```
### SDIO                                     RegInner/Outer/TFF_...
### SDIO                                     RegInner/Outer/TFF_...Subsystem
###
### DF-MODE CORRESPONDING STATEFLOW NODE      DESCRIPTION
###
### TargetLink version : 3.0 from 27-Jun-2008
### Code generator version : Build Id 3.5.0.19 from 2008-06-09 16:55:48
### Copyright (c) 2008 dSPACE GmbH
#####
#include "RegInner_C.h"
#define _REGINNER_C_
.....
#ifdef OPT
.....
#endif
#include "math.h"
#include "RegInner.h"
.....
#include "matlib.h"
.....
#ifdef
.....
#endif
typedefs
.....
#ifdef
.....
#endif
#ifdef
.....
#endif
#ifdef
.....
#endif
#ifdef
.....
#endif
#ifdef
.....
#endif
.....
```

Simulink制御ブロックから
ソースコードを自動で生成

モデルベース開発の開発フロー

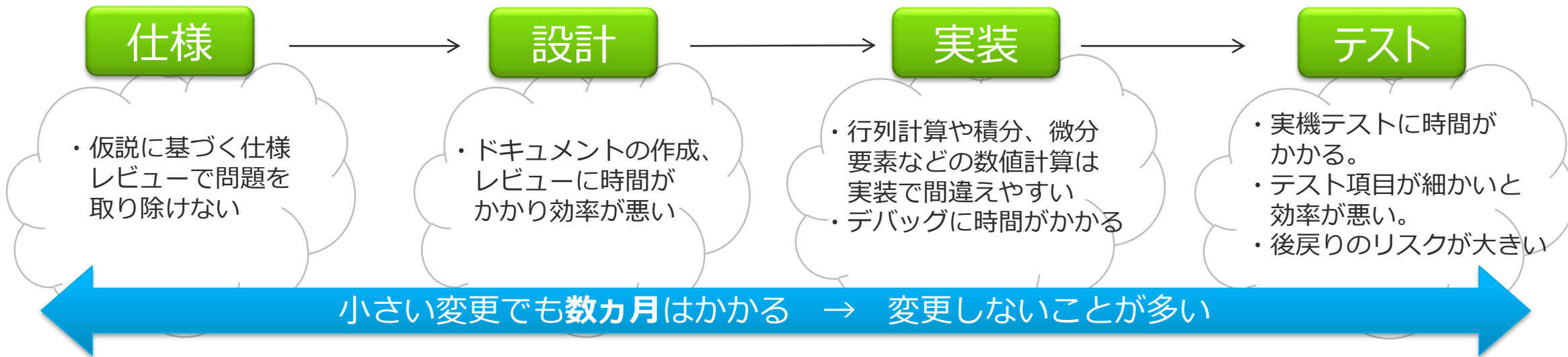


← Total で 数週間に対応 →

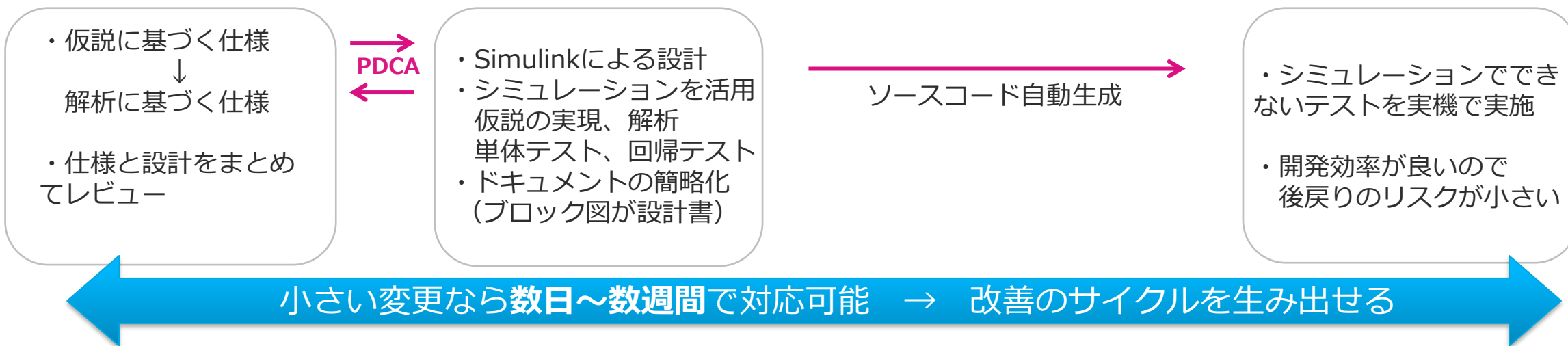


モデルベース開発の導入とその効果

従来の問題点



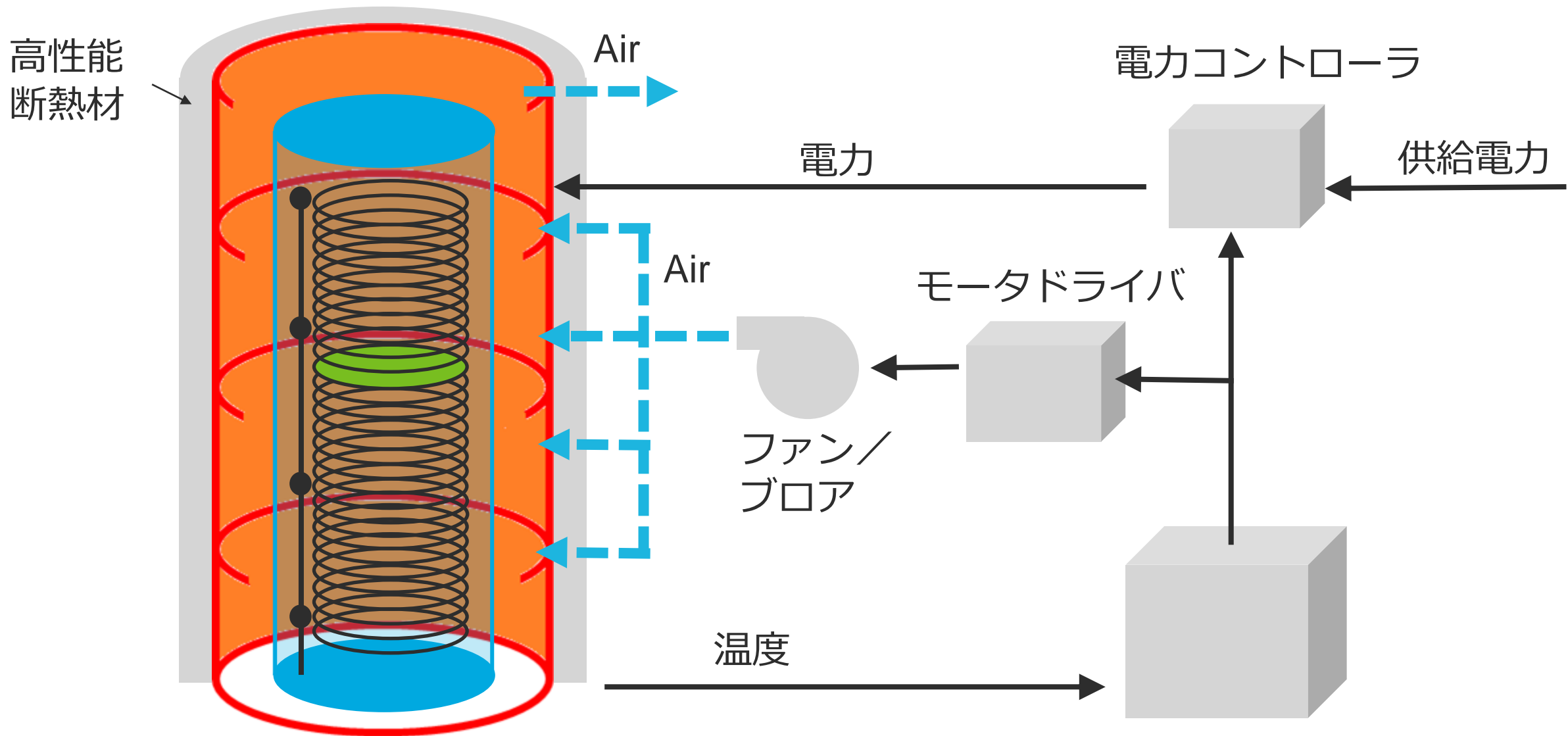
モデルベース開発



MBDを導入し、改善を行いながら制御系ソフトを開発できている
→品質が大幅に向上した

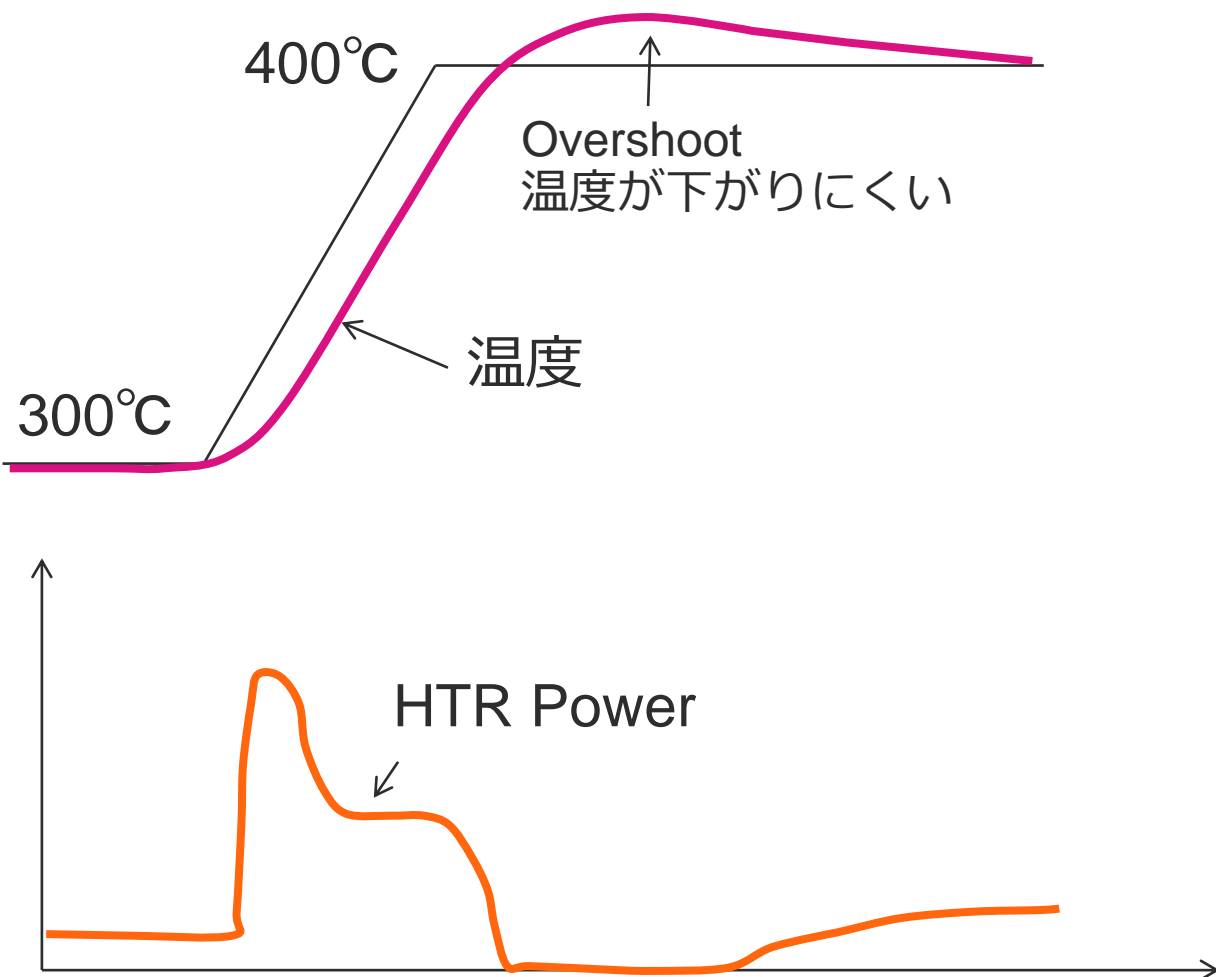
MBD課題の共有：事例紹介②

事例紹介②：ヒーターの省エネ化と Air-Blow制御

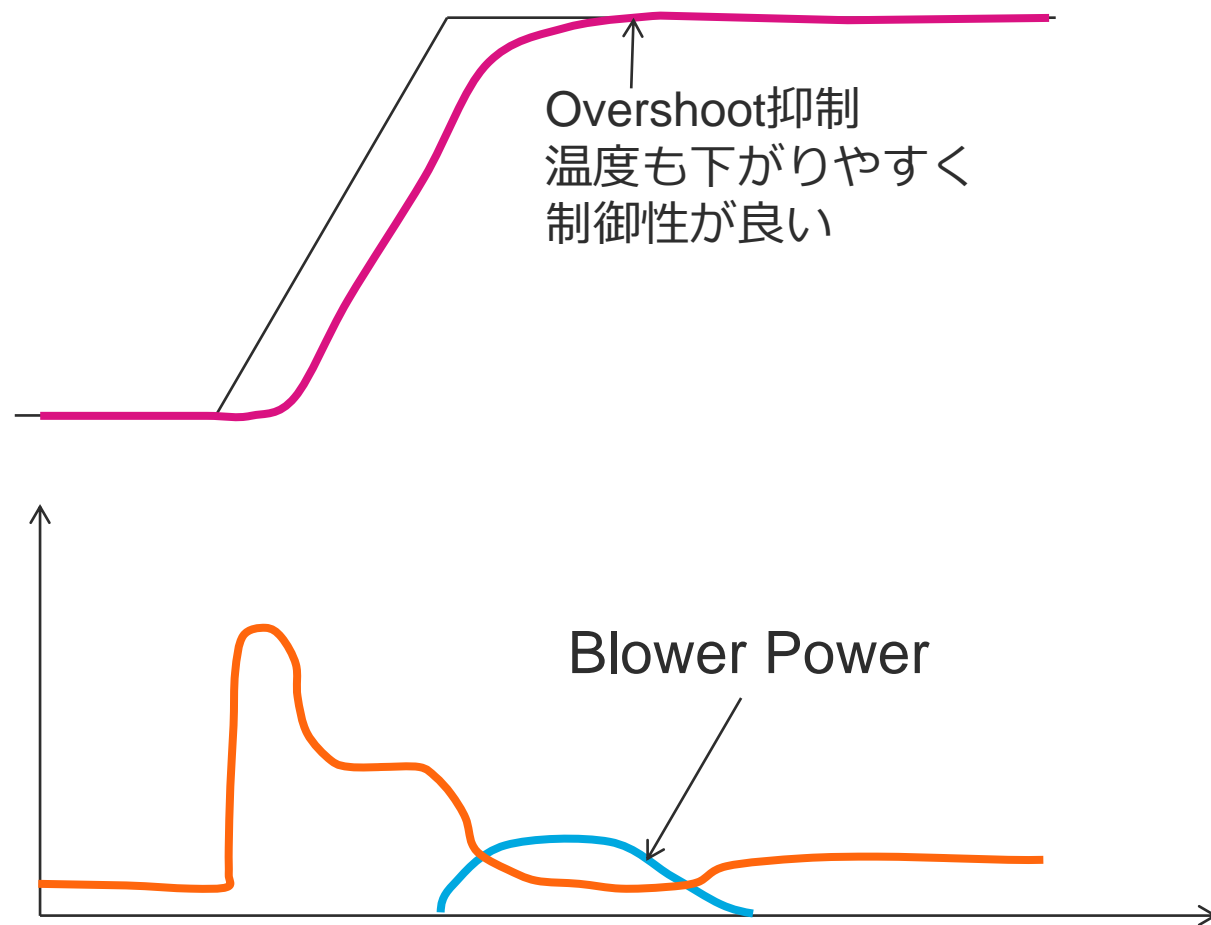


温度制御の課題 と Air-Blow 制御

Air-Blower制御なし

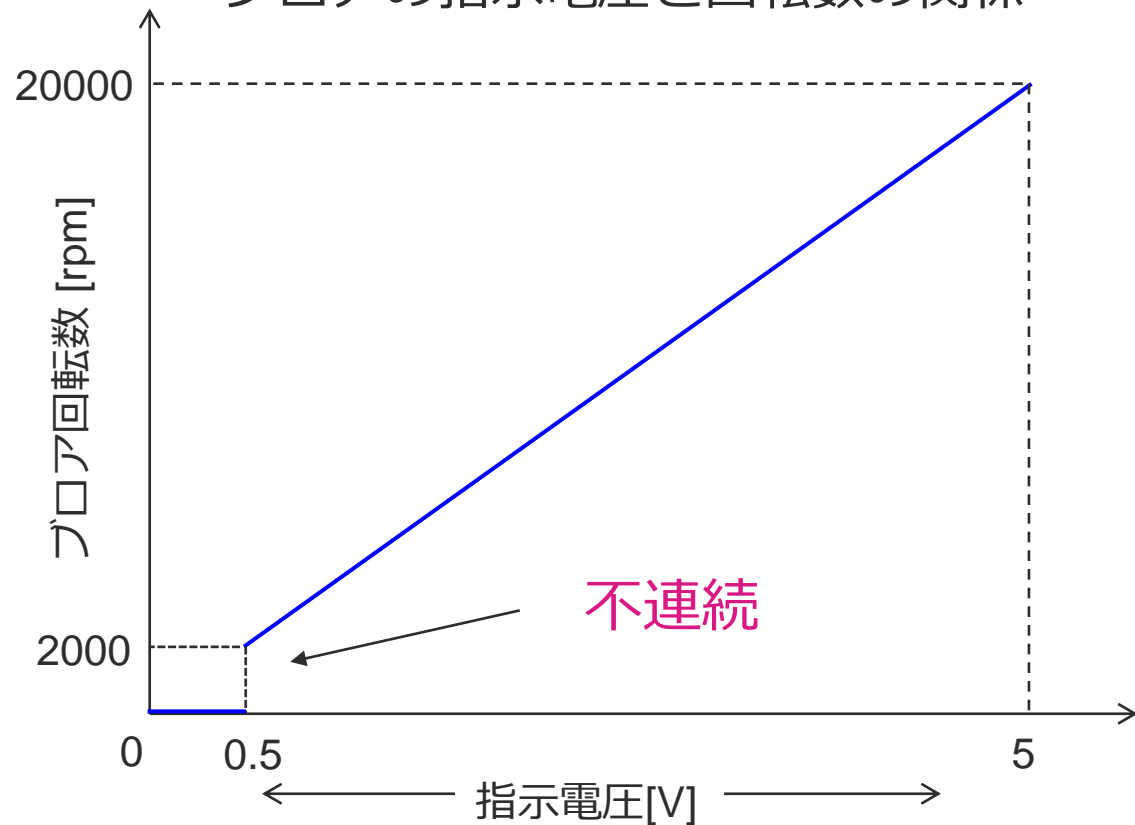


Air-Blow制御あり



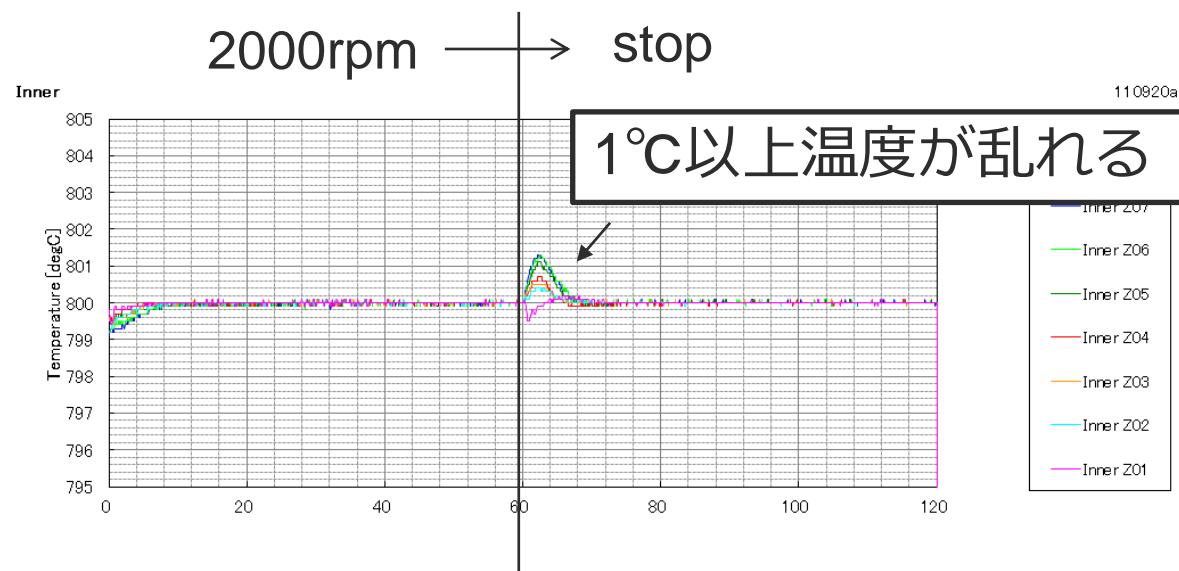
ブロアの最低回転数の問題

ブロアの指示電圧と回転数の関係



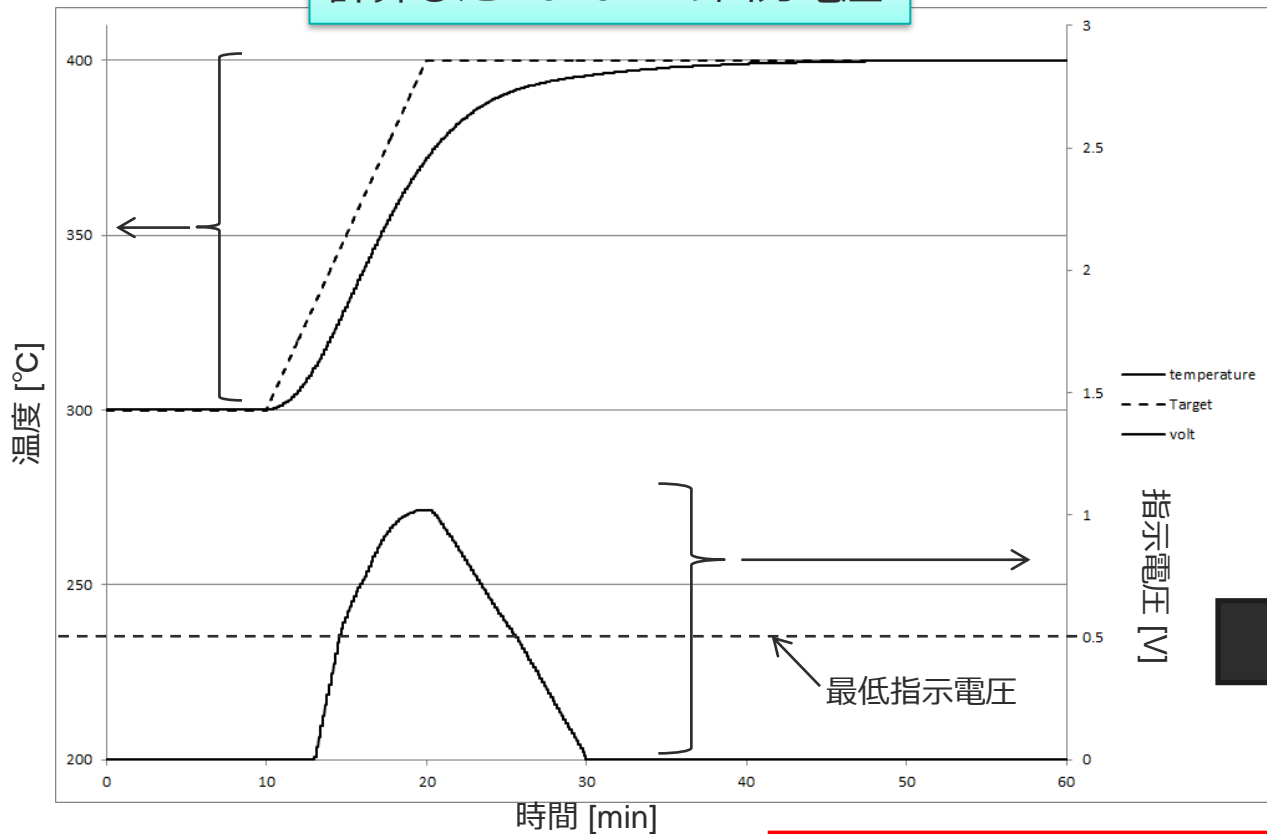
Blowerは低回転になると高負荷がかかり止まる

ブロアを止めると温度が乱れる

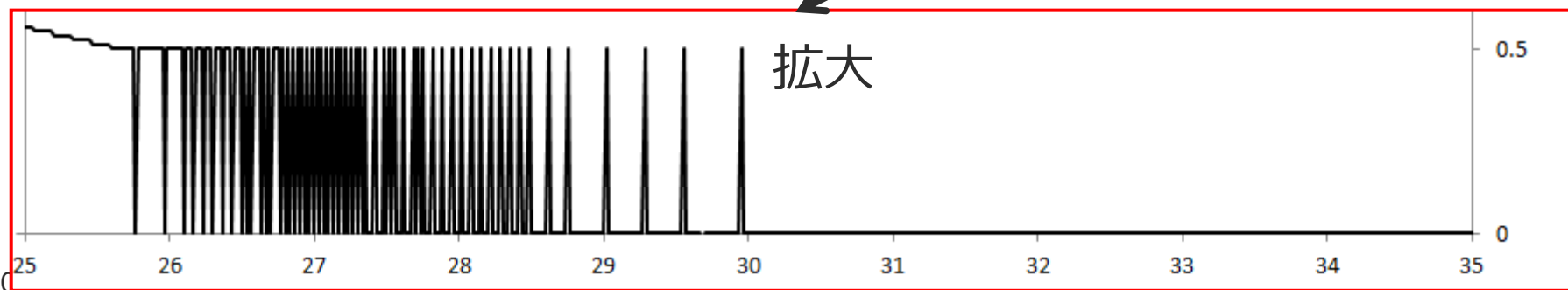
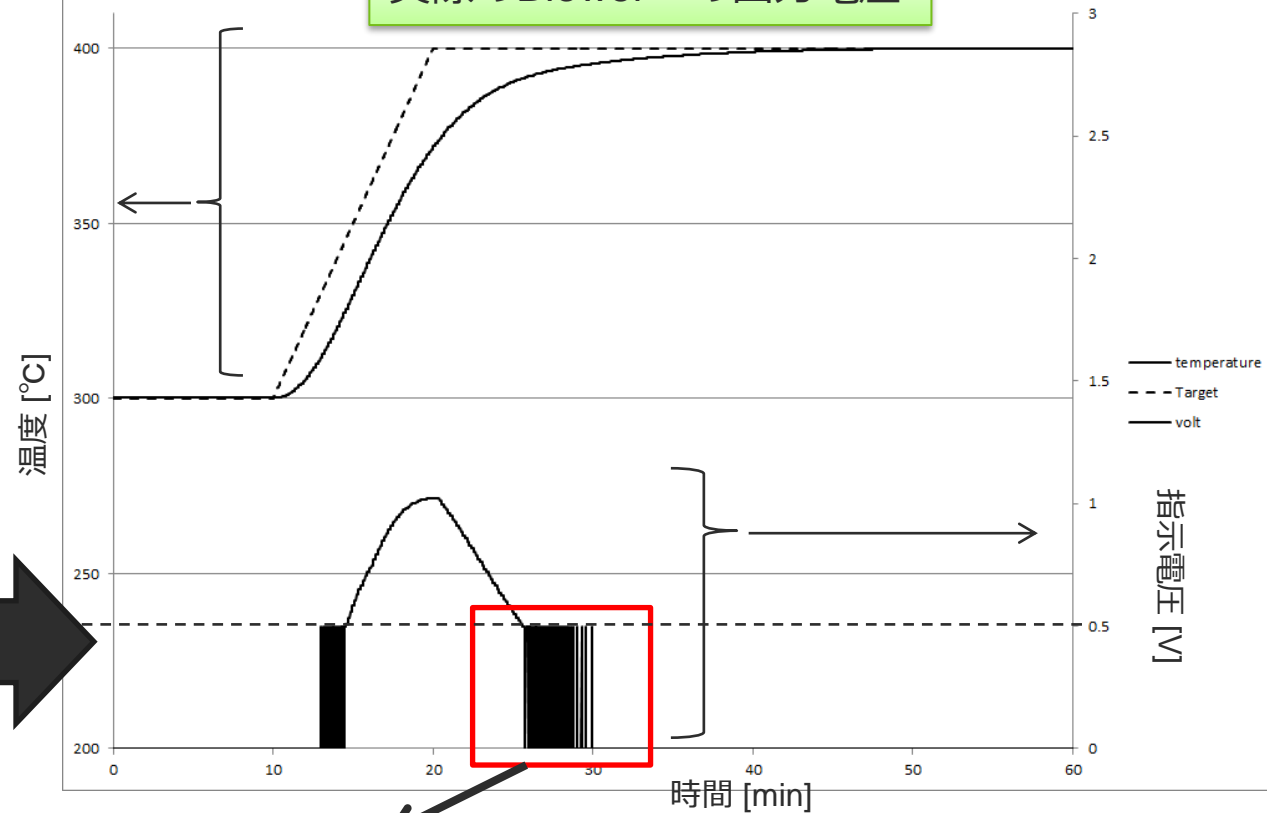


最低指示電圧による間欠運転

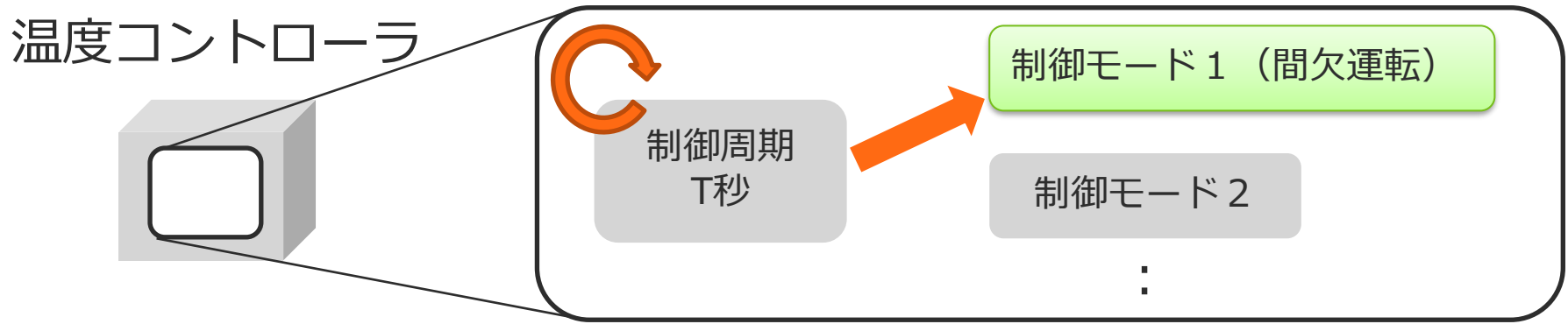
計算したBlowerへの出力電圧



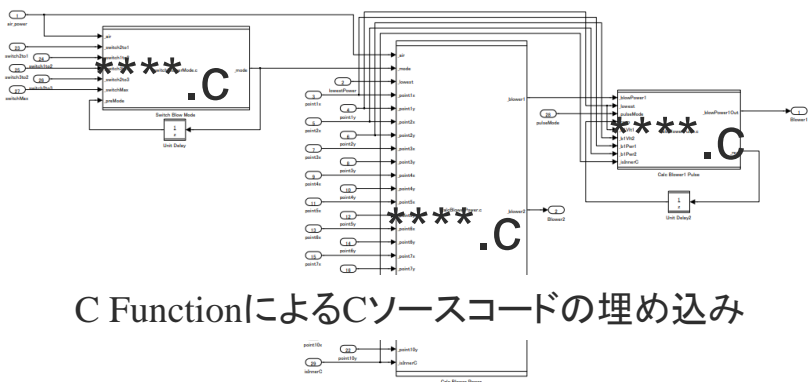
実際のBlowerへの出力電圧



課題



- 制御周期のコントロールや制御モードを呼び出す処理はMBD開発の範囲外であったため変更には制約があり、間欠運転を実現させるための処理が複雑になってしまった
- 条件分岐が複雑になりSimulinkで作成が難しくなったため、Cソースコードを埋め込みとした。自動コード生成のメリットが十分に生かせなかった



```
### C218                                     MATLAB/Simulink
### C218                                     RealTimeWrt/RTW_CoSubsystem
###
### CP-MODE CORRESPONDING STATE/LR MODE      DESCRIPTION
###
### TargetLink version : 2.0 from 27-Jun-2009
### Code generator version : Build Id 2.0.0.19 from 2009-04-09 16:55:40
### Copyright (c) 2009 GPACQ Sphr
#####
$!include _BEGINNER_C_
#####
#definef(COPT) .....
#####
#include "Coeth.h"
#include "RealTimeWrt"
#include "math.h"
#####
#definef .....
#####
#ifdef .....
#####
#endif
#####
#####
#####
#####
```

出力されるソースコードは、ほぼそのまま

⇒MBDの適用範囲をもう少し広げることができればよかった

その他の課題

- 新機能開発に対してのみMBDを適用しており、全体のソースコードに対してはわずか。
- シミュレーションを行うときに、レガシーコードを簡易的にSimulinkブロックに置き換えたものを使用しており、動作の違いによって不具合が発見できなかった。
- ソースコードを自動生成しているが、Windowsの移行などで開発環境のソフトウェアがVer upされると出力されるソースコードが変わるため、動作確認が必要となる。
- 他の業界と比べるとMBDの適用が少ないのもっと上げていく必要がある。

まとめ

- 半導体製造装置（熱処理成膜装置）の温度制御開発にMBDを適用することで、品質を向上させることができている
- 熱処理成膜装置は特に実機での評価に時間がかかるので、シミュレーションによるテストを充実できたことが品質向上に寄与したと考えている
- MBDの適用範囲を限定することで、スモールスタートで始めることができ、ソースコード自動化まで最初から導入できた
- 適用範囲を限定することによる課題もあったが、それでもMBD導入のメリットは大きい
- MBDで改善のサイクルを生み出したことで、新しい機能や難しい機能の開発についてもどんどんチャレンジできるようになった

質疑応答

本資料の取扱上の注意

当社の書面による承諾なしに複写、または第三者への開示はできません。

東京エレクトロン

TEL™

TOKYO ELECTRON