

ITER/BA成果報告会2018

「人類の明日をのぞむ、核融合エネルギー」

@朝日ホール

ITER/BA成果報告会2018
核融合エネルギーフォーラム

超高精度製作を成功させた技術力とその未来

- ITER向けトロイダル磁場コイルの
製作で得られた大型構造物の技術 -

原子力事業部
核融合推進室

蓮沼俊勝

2018.12.14

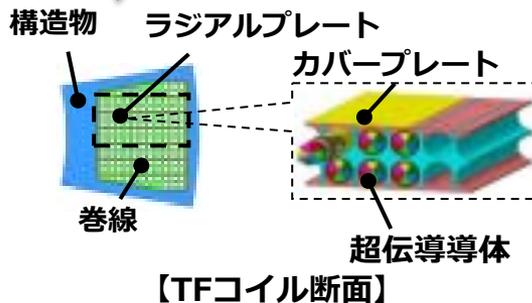
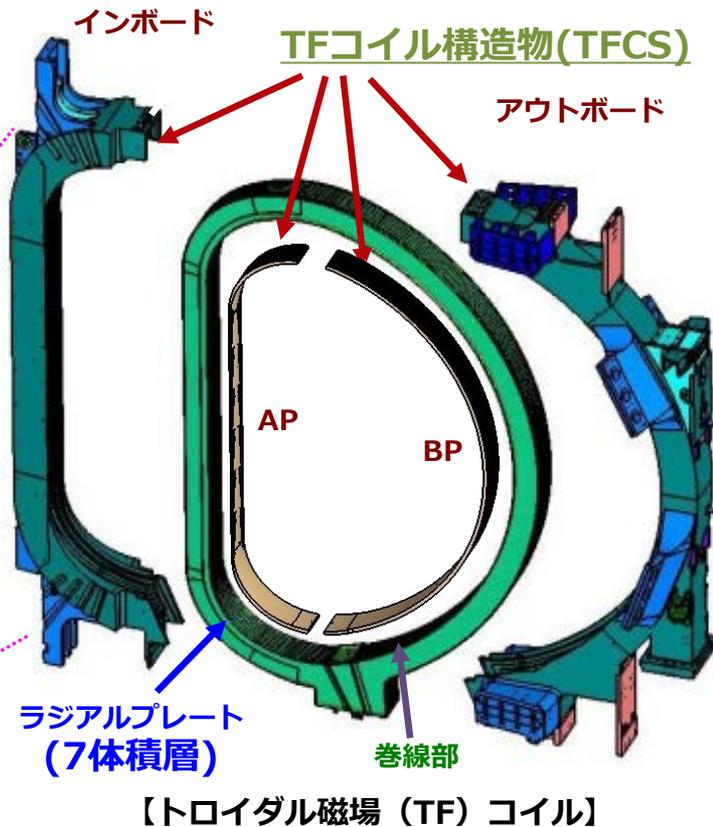
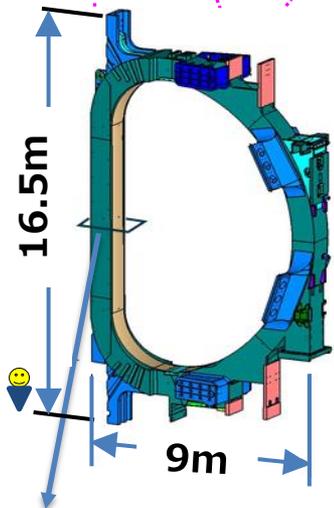
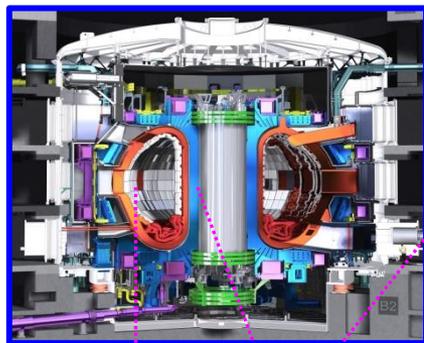
三菱重工業株式会社

目次

- ◆ ITER トロイダル磁場 (TF) コイルの概要
 - ◆ TFコイルの製作状況
 - ◆ TFコイルの製造技術
 - ◆ 製造技術の将来



ITER トロイダル磁場コイル (TFC) の概要



TFコイル主要仕様

- 基数 : 20°ピッチ × 18基
- 重量 : 約310 ト/基
- 材質 : 極低温用ステンレス鋼
- 運転温度 : 4.2K (-269℃)

コイル構造物

- 材料 : 極低温用ステンレス鋼 (JJ1・SUS316LNH ITER Gr.)
- 輪郭度 : 2mm以内 (インボード)
- 高精度な溶接変形管理

巻線部

- 巻線 : 超伝導導体(Nb₃Sn)
- 公差 : 最大 8mm/周長約30m
- 熱処理温度 : 650±5℃
- 262種類のカバープレート

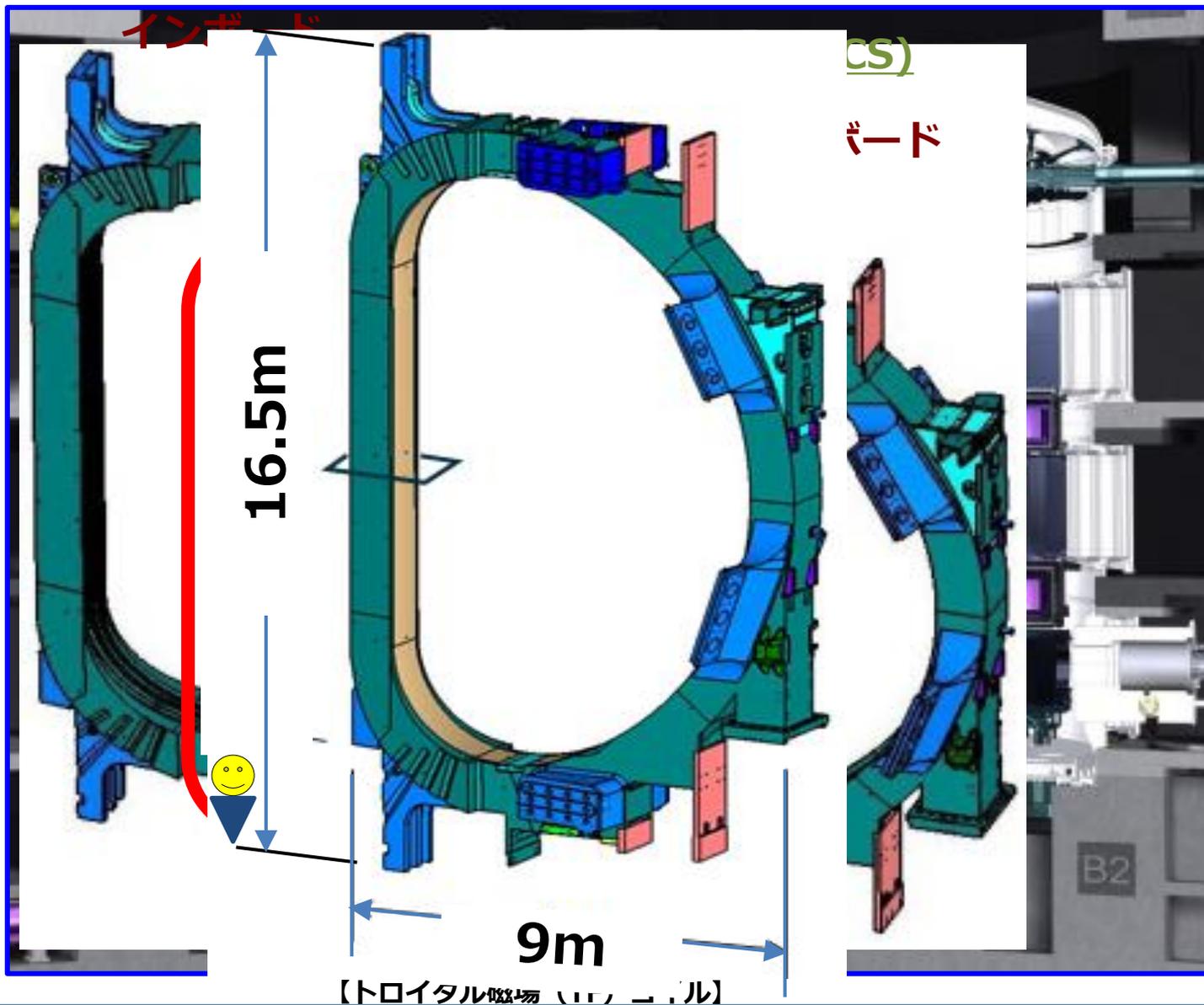
ラジアルプレート

- 材料 : 極低温用ステンレス鋼 (SUS316LNH ITER Gr.)
- 平面度・輪郭度 : 1mm以内
- 高精度な溶接・加工変形管理

一体化

- 巻線位置合せ : ±1mm以内
- 溶接後最終機械加工精度 : 平行度0.4mm以内

ITER トロイダル磁場コイル (TFC) の概要



【トロイダル磁場 (TFC) コイル】

TFコイルの製作状況



セグメントの製作



サブアッセムブリの製作



AU-APの仮合わせ



インボード・アウトボードの仮合わせ

TFコイル製作状況

インボード(AU×19基)

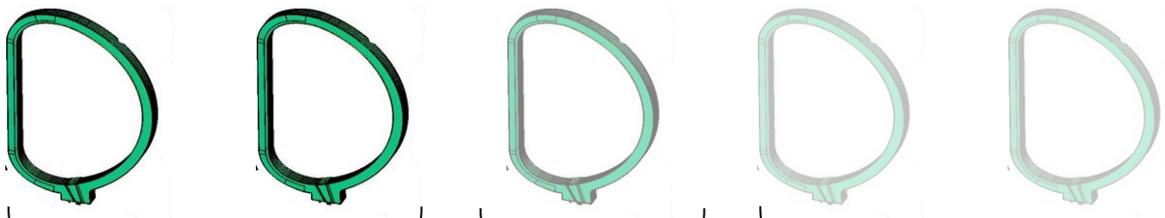


完成済み

サブアセンブリ最終組立・最終加工

セグメント
組立中

コイル巻線 (WP×5基)

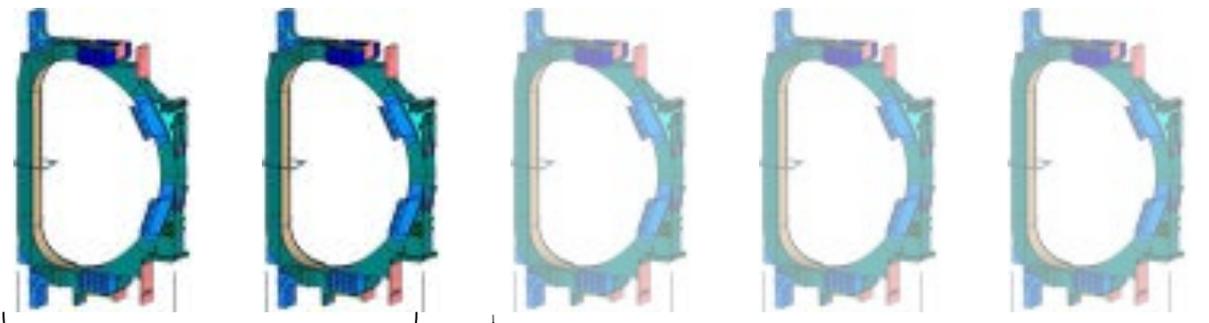


最終試験中

最終試験準備中

製作中

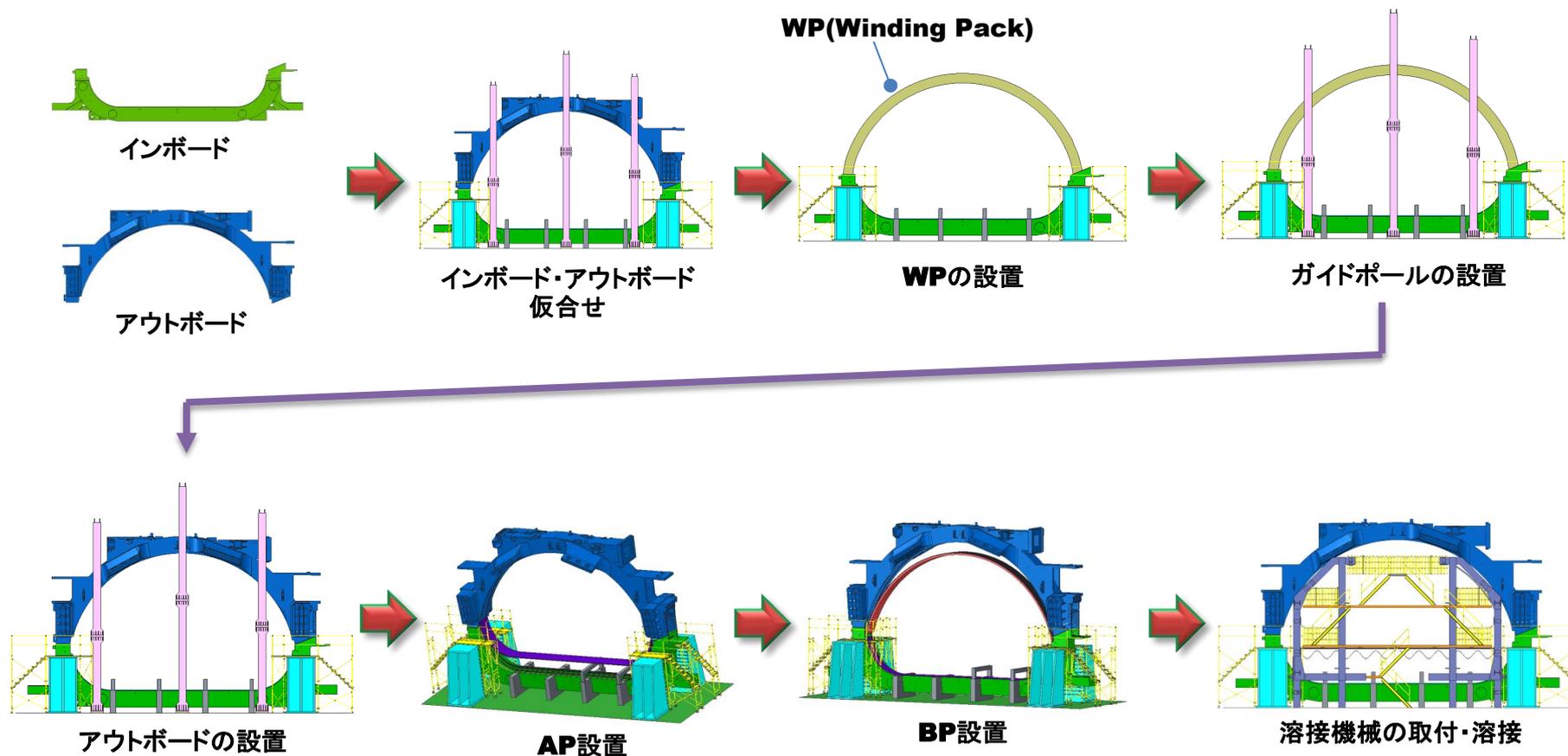
一体化 (×5基)



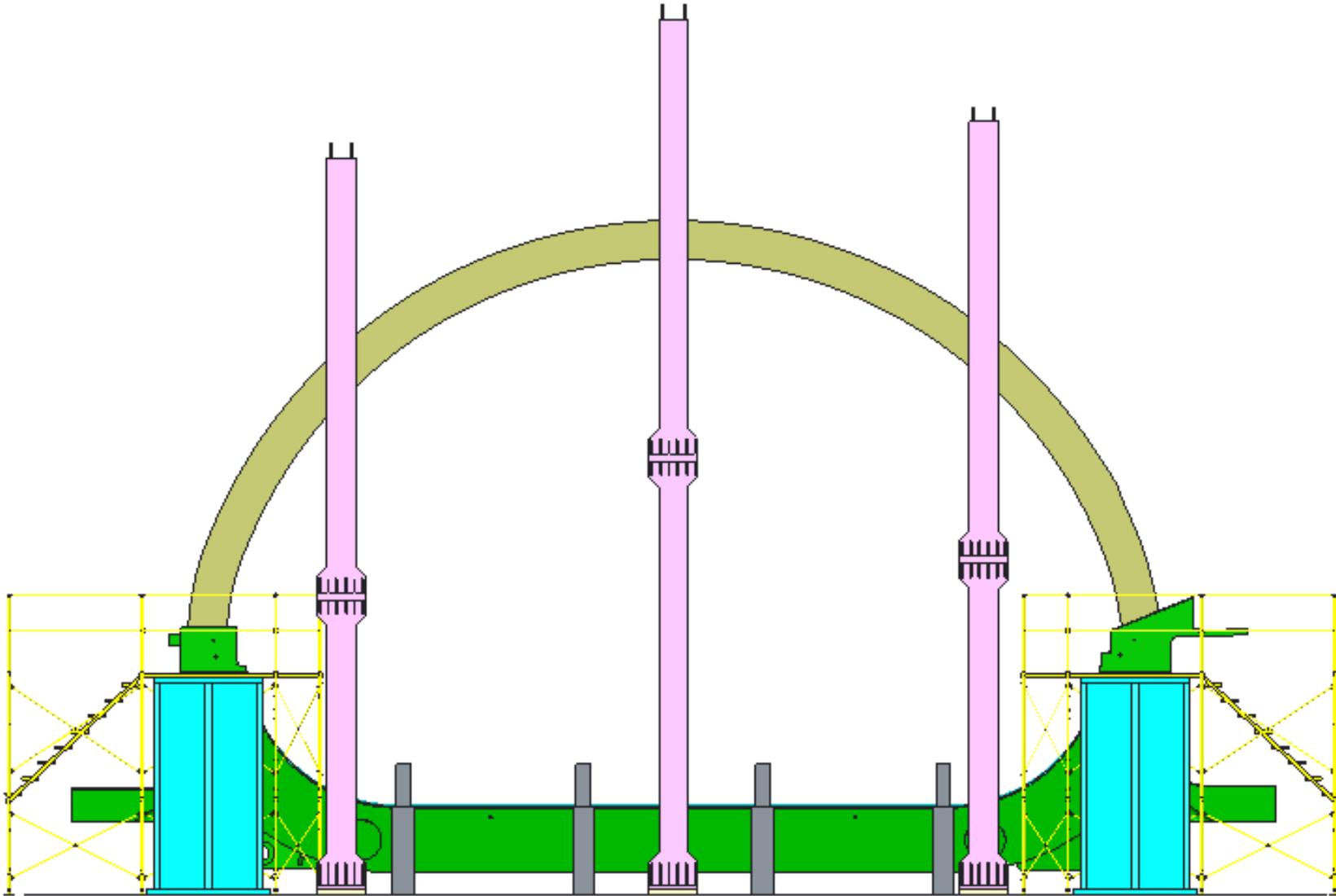
一体化準備中

アウトボード製作中

TFコイルの製作状況：一体化作業工程

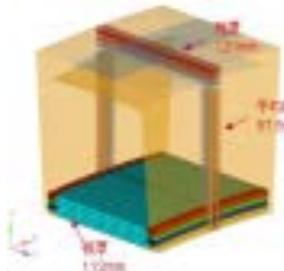


TFコイルの製作状況：一体化作業工程



TFコイル構造物のセグメント溶接、一体化溶接の感度解析

- 大型・複雑形状構造物を高精度で加工・溶接・組立するための技術基盤を拡充
- 溶接条件の最適化、大型構造物の変形(隙間)管理、施工要領を決定



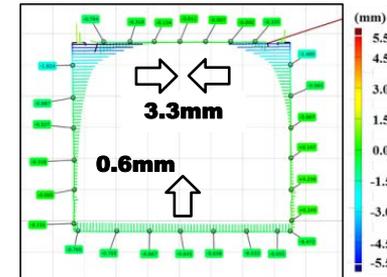
板厚 mm
横収縮S mm
角変形2θ rad
縦収縮力 kN

板厚 mm
横収縮S mm
角変形2θ rad
縦収縮力 kN

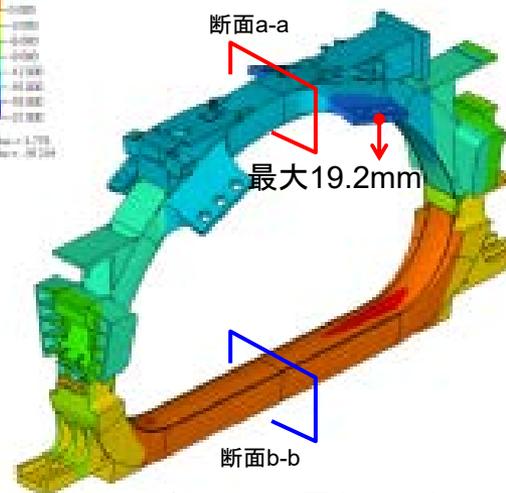
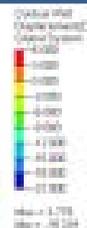
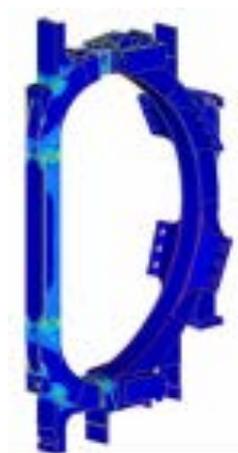
試験板溶接による溶接条件選定と固有ひずみ計測

AU-BU 側板 補正	AP-BP 底板 補正	板同士 補正
87.5	120	113
4.71	4.97	4.92
0.058	0.060	0.059
5290	7255	6832

AU-AP 補正
113
2.02
0.052
4829

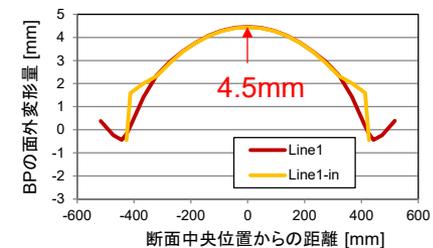
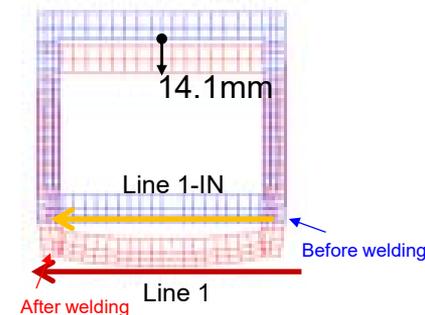


1/3スケール全体モックアップ試験と変形計測



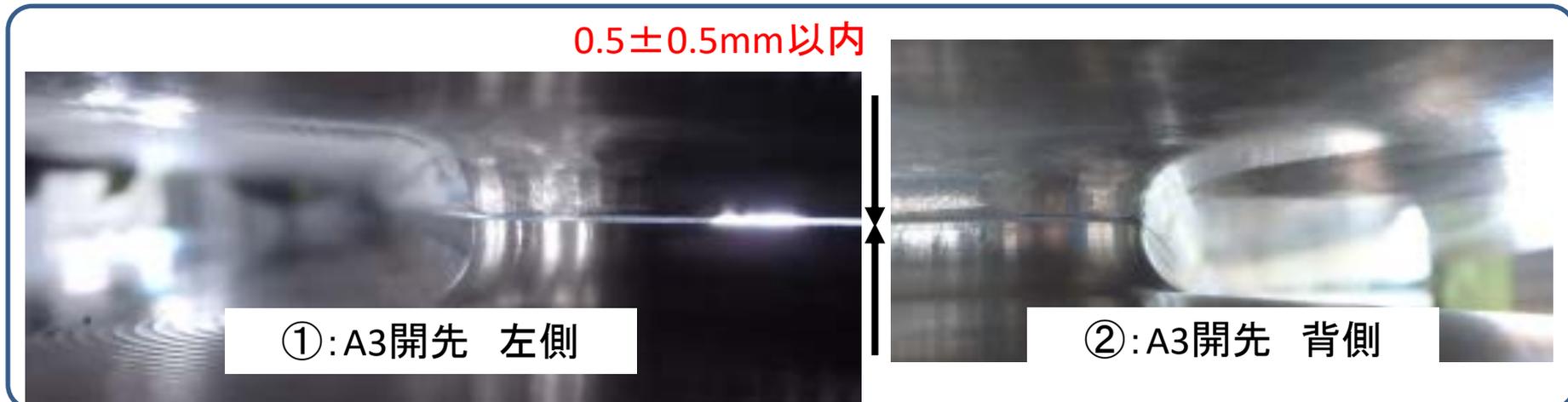
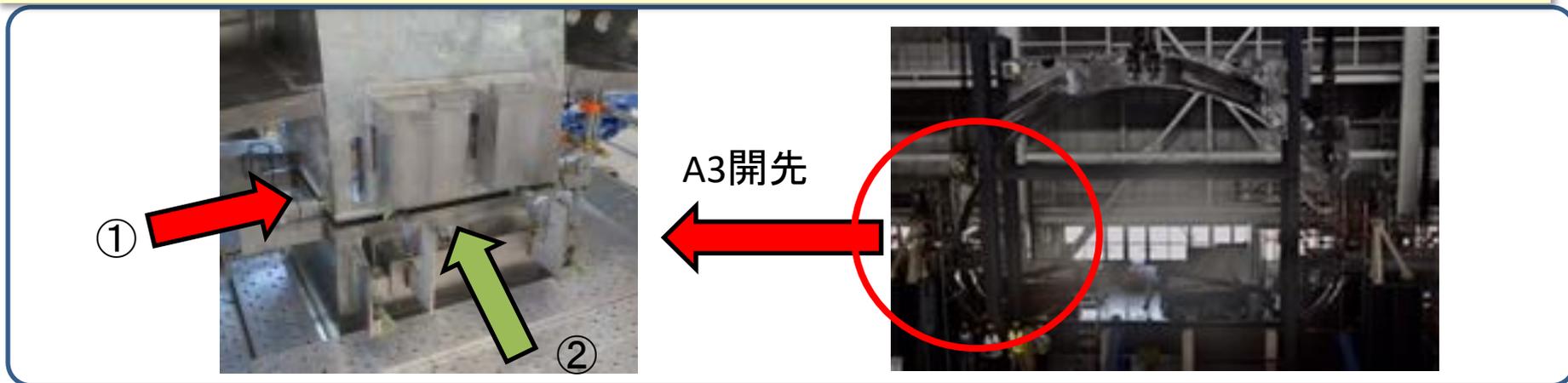
変形モード図(Z方向)

実規模解析とフルスケールモックアップでの施工検証



TFコイル構造物の一体化 仮合せ検査

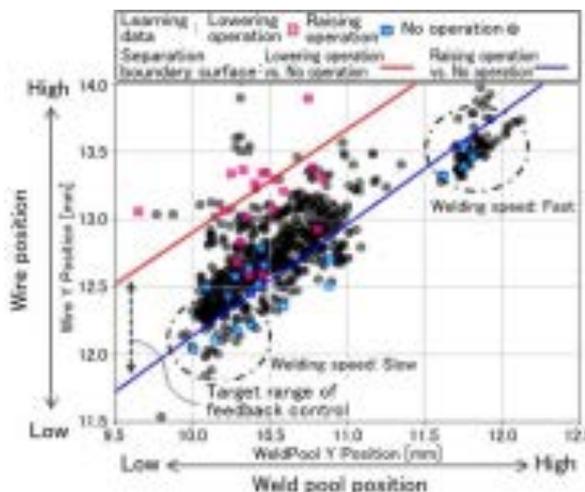
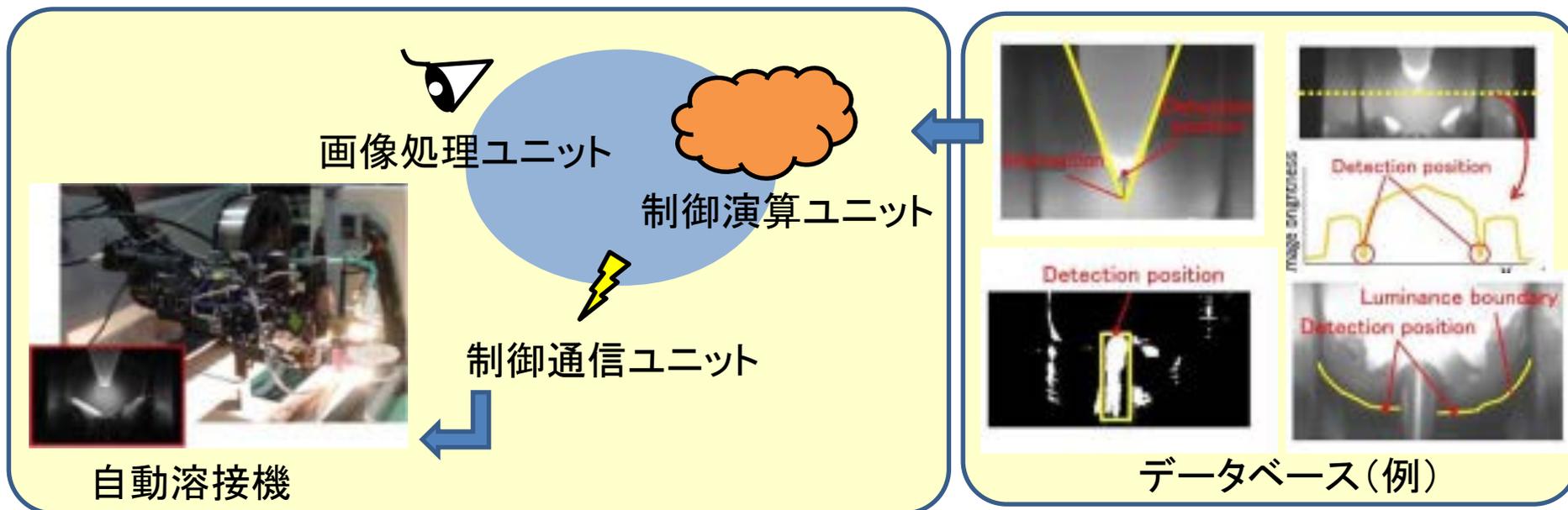
- 高精度での据付を実現するため、縦置きで一体化を実施中。
- 本年8月にインボード・アウトボード溶接仮合せ検査を実施。
- 開先面隙間 $0.5 \pm 0.5 \text{mm}$ 、食い違い $\pm 0.5 \text{mm}$ （側板）/ $\pm 1.4 \text{mm}$ （背板）をクリア。 ⇒12/M~の一体化組立・溶接作業に向けて準備中。



■ ITER製造技術の波及効果(技術の応用)

基盤技術の伸長	<p>難溶接材・難切削材であるITER向け極低温用特殊ステンレス鋼(高窒素添加)に対して</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 材料製造プロセスから改良、適正溶接条件選定 ● 試験を通じた適正な切削・加工条件選定 	<p>新規材料の製造情報蓄積 過酷環境下で使用する機器へ製造技術を展開</p> <ul style="list-style-type: none"> →極低温機器 (加速器) →宇宙ステーション →深海探査機
新溶接施工法の確立	<p>TFコイル溶接施工において、</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 技術の融合により低ひずみ溶接加工達成 ● 異材継手溶接、完全溶込溶接へ適用し技術向上 	<p>厚肉溶接構造体の高精度溶接技術へ展開</p> <ul style="list-style-type: none"> →圧力容器 →ダイバータ →真空容器
複雑形状の製造技術	<p>ITER実規模試験、解析データから、</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 低歪溶接技術向上、施工プロセス最適化 ● 大型機械での同時5軸加工達成、加工技術向上 	<p>大型・複雑形状構造物を施工する設計・製造プロセスを構築</p> <ul style="list-style-type: none"> →真空容器
国際プロジェクト対応能力	<p>今後のグローバル化に向けて若手技術者の有意義な経験</p>	<p>ITERプロジェクト経験から海外案件取組み、海外メーカー対応に活用</p>

ITERへの応用 - 機械学習を利用した自動溶接技術の開発



熟練溶接工の施工データからの機械学習

施行例



Weld part appearance



Section macro structure photograph

今後、原子炉圧力容器等を対象とした原子力機器製造技術開発* 成果をITER-TFコイル製作にも応用し、溶接技術のさらなる改善・高度化を目指す。

*: 経済産業省(平成27、28年度発電用原子炉等安全対策高度化技術開発及び平成29、30年度原子力の安全性向上に資する技術開発)

ITER製造技術の波及効果(技術の応用)

ITERで培った、
高い製造技術、玉成への
すばらしい製造経験が、

地上地下、海洋深海、航空
宇宙等、幅広い製品分野で、

新たな先端機器の開発・製造
への未来の地平線を切り開く
ことを期待しています。



MOVE THE WORLD FORWARD

**MITSUBISHI
HEAVY
INDUSTRIES
GROUP**