



# ITERブランケット冷却配管用 保守ツールの開発

---

SI2016

第17回 計測自動制御学会

システムインテグレーション部門講演会

2016年12月17日

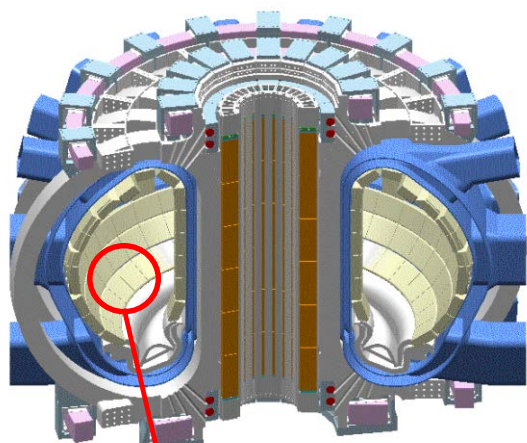
国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構

遠隔保守機器開発グループ

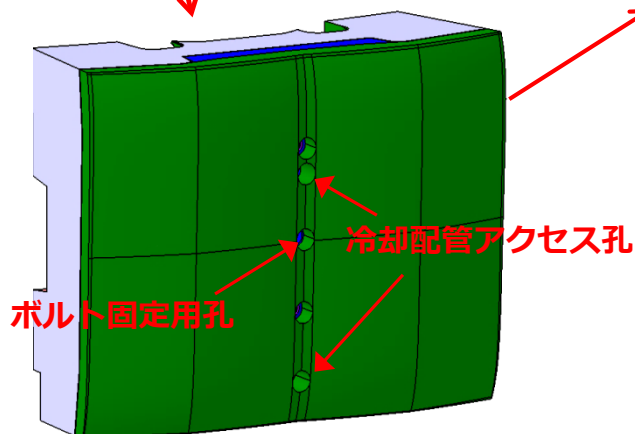
野口悠人

# 炉内第一壁(FW)の配管保守ツールが必要

- 第一壁(First Wall)には、冷却配管が巡らされている
  - 既設冷却配管の切断/新規配管の溶接が必要
- 冷却配管保守ツールの開発が必要

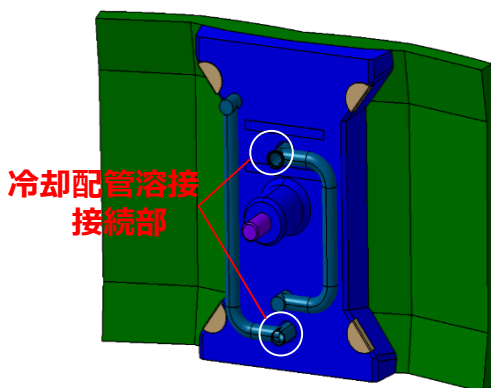


ITER断面図



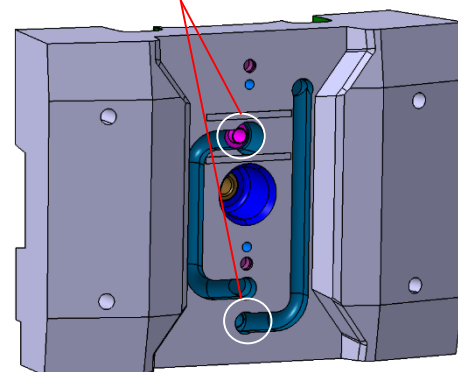
ブランケットモジュール

## 遠隔保守の対象



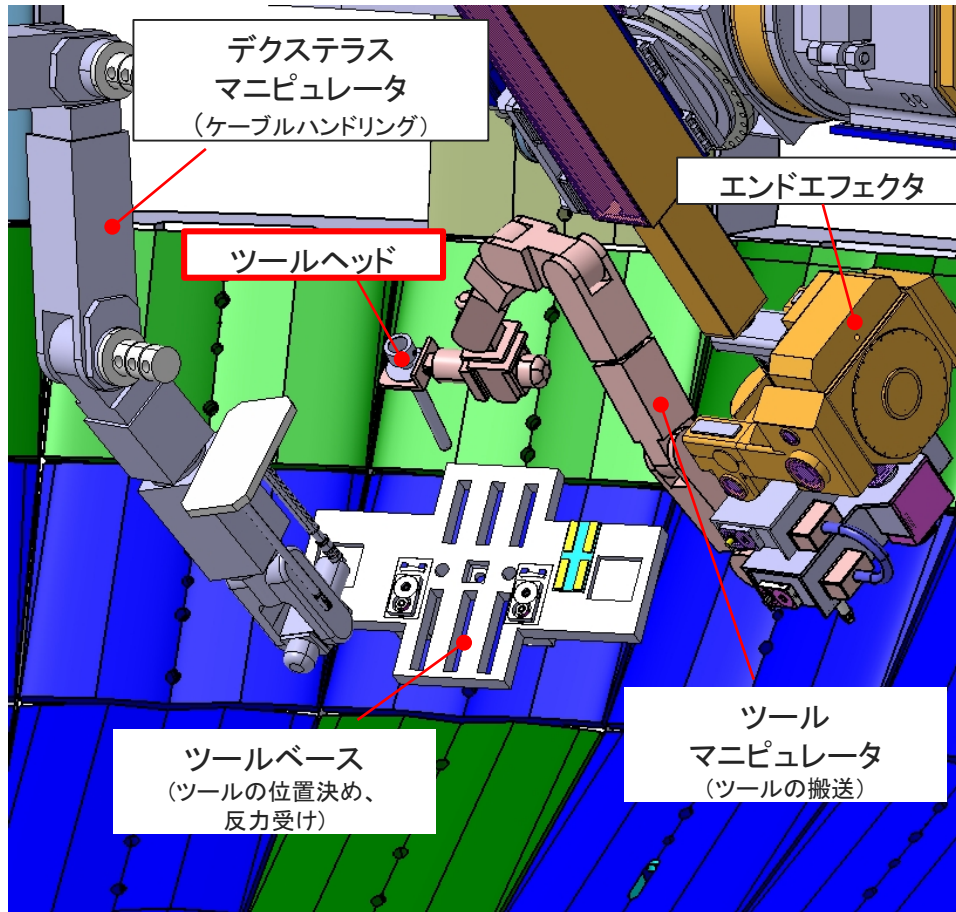
FW (第一壁)  
保守クラス1 (3回/10年)

## 冷却配管溶接接続部



SB (遮蔽ブランケット)  
保守クラス2 (不定期)

# ブランケット保守作業用ツールの概要



## 各ツールヘッド毎の機能

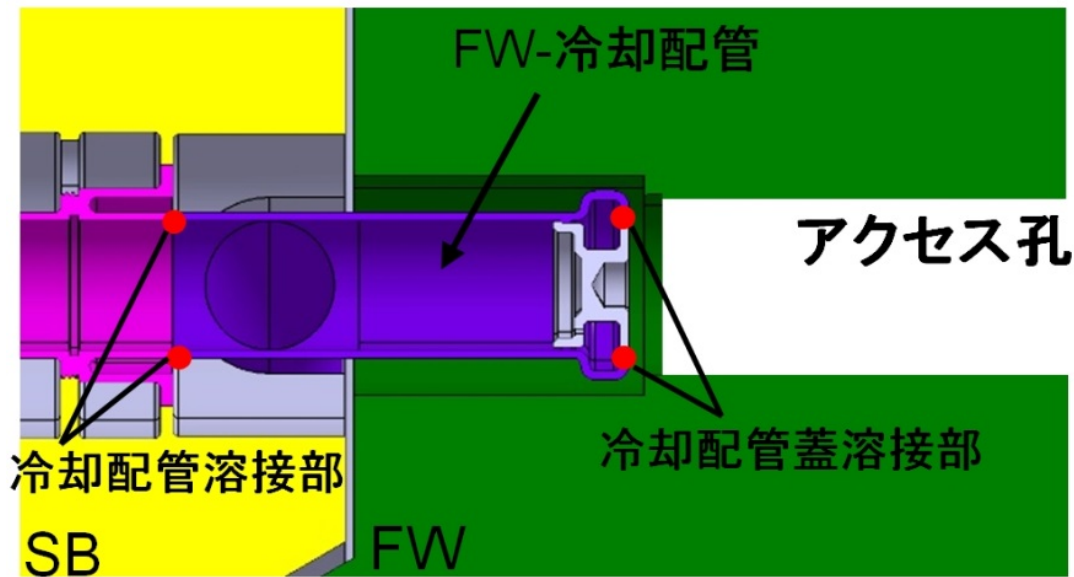
- 配管溶接・切断
- 配管開先合わせ
- 構造物把持, 検査 etc

## 各ツールに共通して必要な機能

- ツールの位置決め → ツールベース
- ツールの反力受け → ツールベース
- ツールの搬送 → ツールMNP
- ケーブルハンドリング → DEX MNP

# 第一壁(FW)配管保守ツールの概要

- 第一壁配管の作業対象は蓋・配管部
- 蓋を切断・除去 → 配管部切断 → FW交換



| No | ツールヘッド     |
|----|------------|
| 1  | 蓋把持ツール     |
| 2  | 蓋溶接ツール     |
| 3  | 蓋切断ツール     |
| 4  | 配管溶接ツール    |
| 5  | 配管開先合わせツール |
| 6  | 観察ツール      |
| 7  | 配管切断ツール    |

**本講演では配管部の溶接・開先合わせ・観察ツールを報告**

# 冷却配管溶接ツール(設計条件)

## 溶接対象(ブランケット冷却配管)

- ・ 配管材質 : SUS316L
- ・ 配管サイズ: 内径42.7mm 厚み2.77mm(現設計では3mmに変更)

## ツールの設計条件

### ○溶接機能

- ・ 入熱量の目標値 : 2 kJ/cm以下  
再溶接時のHeバブル抑制 および 熱影響部最小化
- ・ ツール繰り返し使用回数 : 50回以上
- ・ 故障時におけるリカバリの容易さ

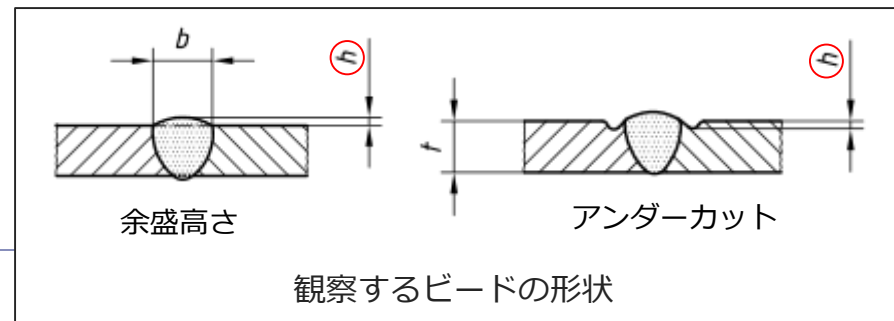
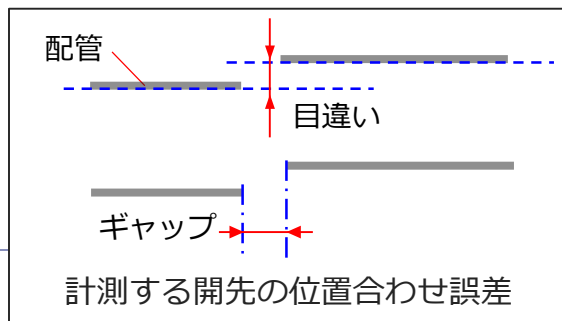
レーザー溶接を採用

### ○開先合わせ

- ・ ギャップ0.2 mm、目違い0.3 mmの精度で開先を合わせられること

### ○開先計測、溶接部観察機能

- ・ ギャップ0.2 mm、目違い0.3 mmの精度で開先を確認できること
- ・ ビードの余盛高さ0.4 mm、アンダーカット0.28 mmを検知できること



# 冷却配管溶接ツール – 溶接条件検証試験

## 溶接品質の要求値

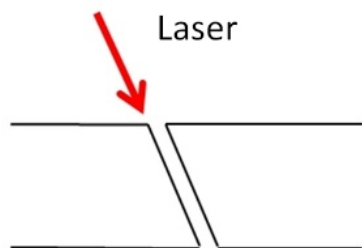
ビード余盛高さ: 0.4mm(ビード幅の1/10) 以下  
アンダーカット: 0.28mm(板厚の1/10) 以下

## 開先条件

許容ギャップ: 0.2 mm

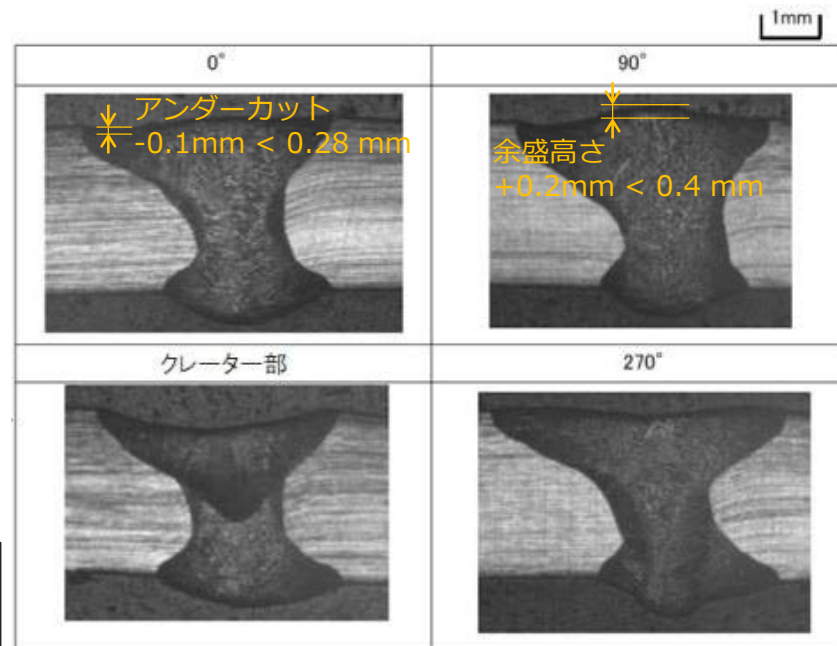
(ギャップ0.3mmで アンダーカット0.3mm)

許容目違い: 0.7 mm (規格より0.3mm以下)



### 溶接条件

- ・ レーザ出力 : 2.8 kW
- ・ 溶接速度 : 100 cm/min
- ・ 初期ギャップ : 0.2mm

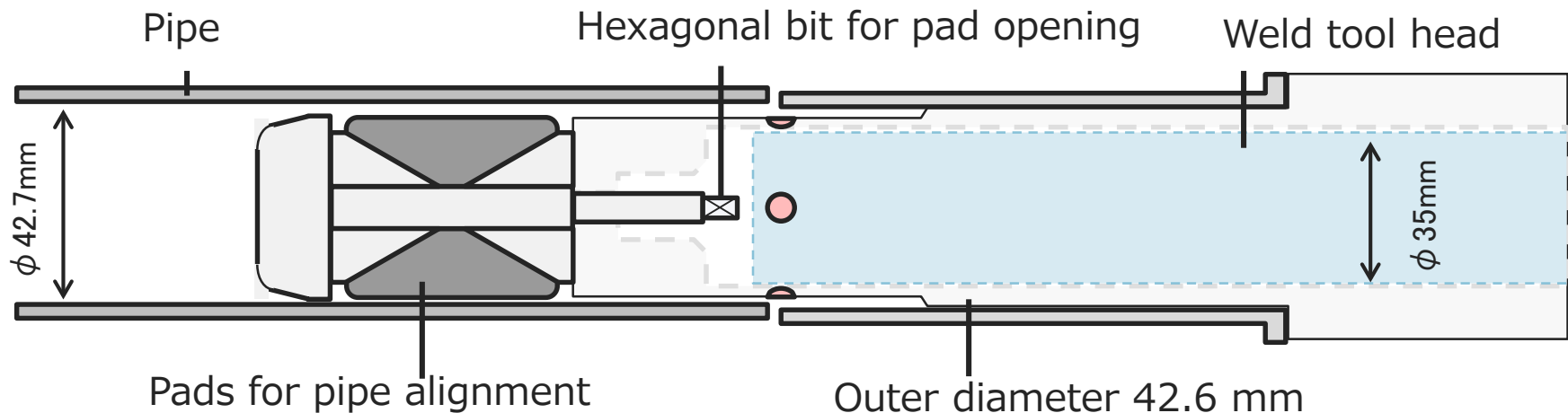


マクロ試験結果

➤ 配管の溶接開先を精度よく合わせることが不可欠

# 配管合わせツールが必要

- ❑ 配管の溶接開先を精度よく合わせることにより、品質のよい溶接品質が得られる
- ❑ 溶接ツールと開先合わせツールを統合したツールを考案し、設計・試作した

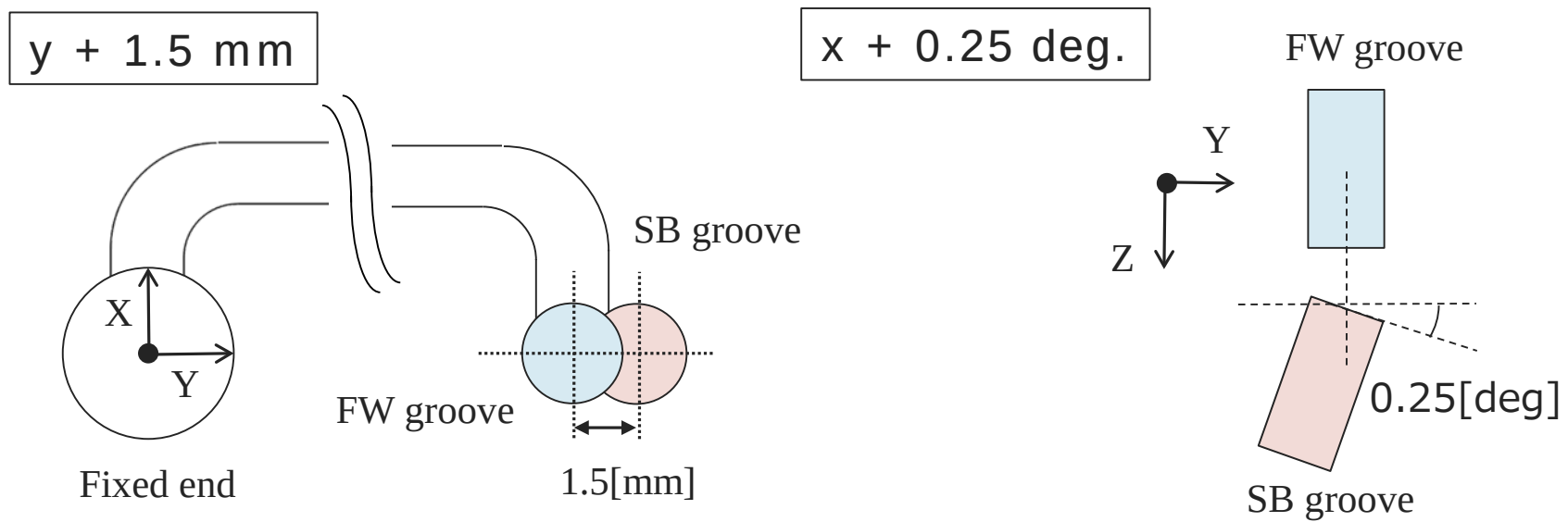


# FW配管のFEM解析により設計値を決定

- 配管の許容応力(=  $F_y/1.5$ ) から、配管の軸ずれ制限は
  - 並進方向の位置ずれ < 1.5 mm
  - 角度方向の位置ずれ < 0.25 deg.

→ 角度ずれによる発生応力大。製作・組立精度への要求
- 配管の位置ずれを矯正するための力・モーメント:  $\sim 1500$  N &  $\sim 140$  Nm

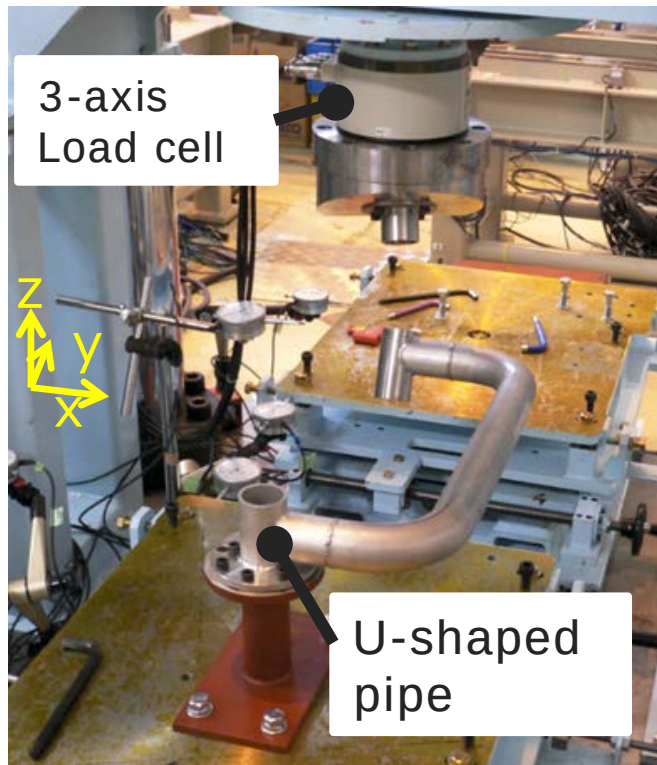
→ 配管開先合わせツールへの要求を明確化





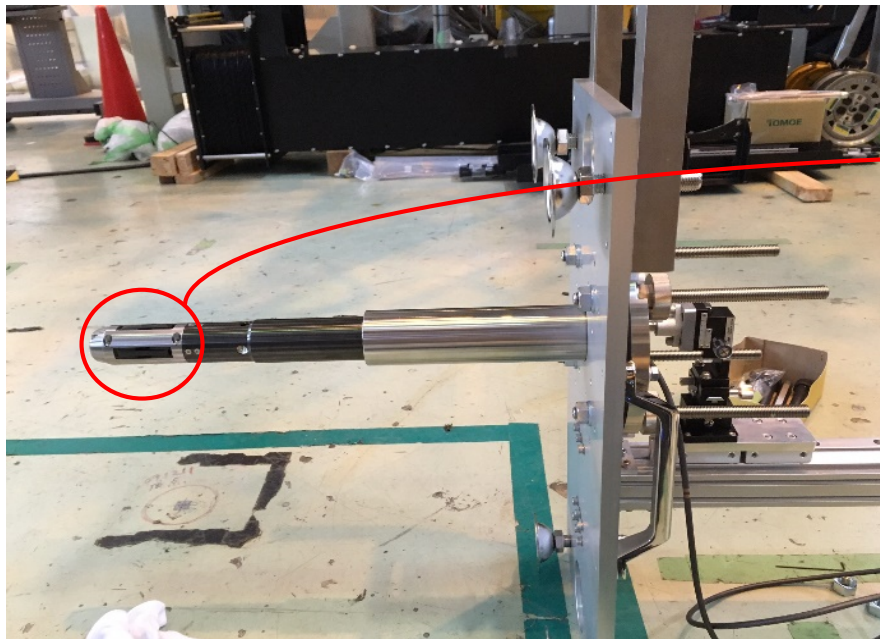
# モックアップを用い要素試験を実施した

- 以下の条件でギャップ 0.2 mm 以下, 目違い0.3 mm以下を達成
  - 並進ずれ < 1.5 mm
  - 角度ずれ < 0.5 deg.



# 決定した仕様によりプロトタイプを製作

- ✓ 矯正可能な最大並進位置ずれ: 1.85 mm ( $> 1.5$  mm)
- ✓ 最大パッド押し込み荷重 (配管径方向): 2800 N ( $> 2000$  N )
- ✓ 最大許容押し込み力 (配管軸方向) 7000 N
- 現在検証試験を実施中

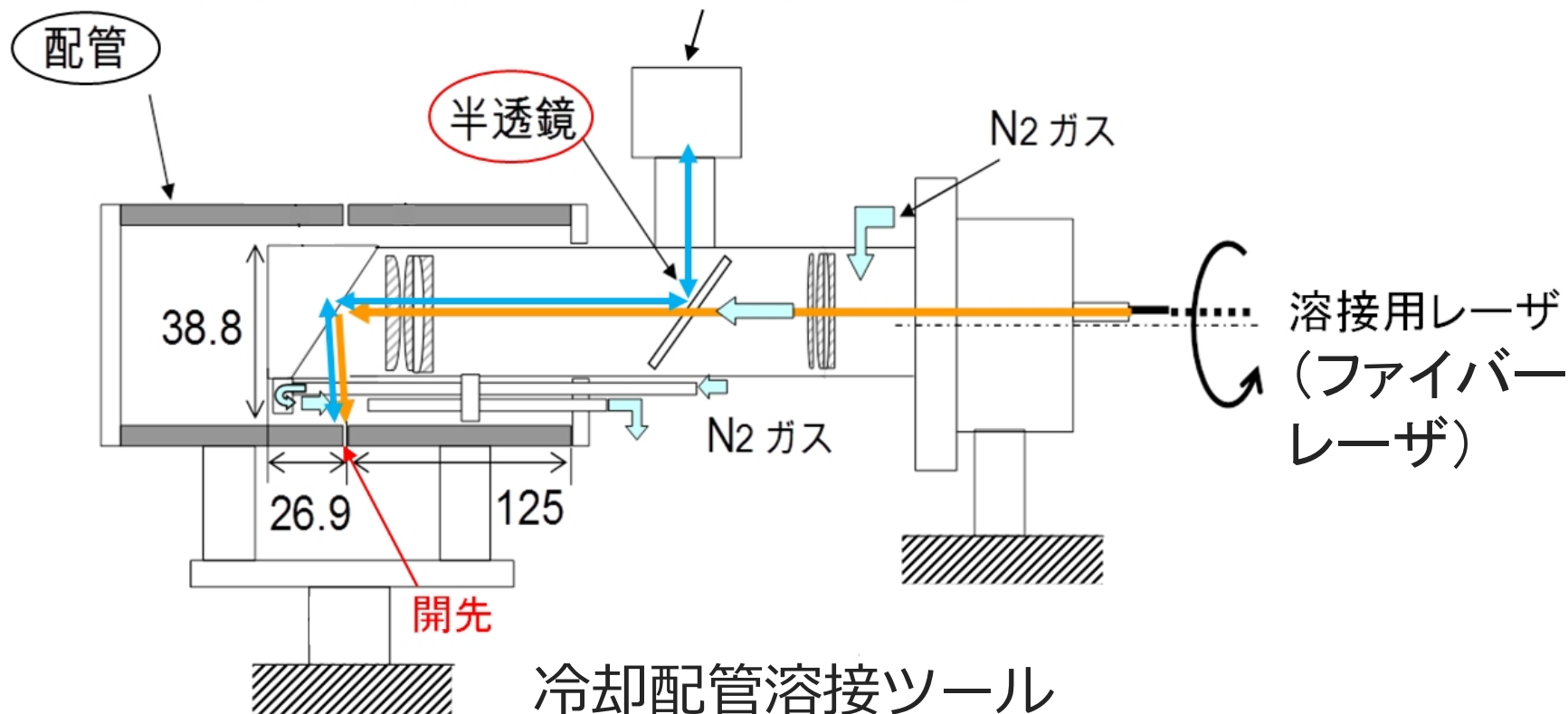


# 近赤外光による開先観察ツール

## □ 開先計測、溶接部観察機能（近赤外ファイバースコープ）

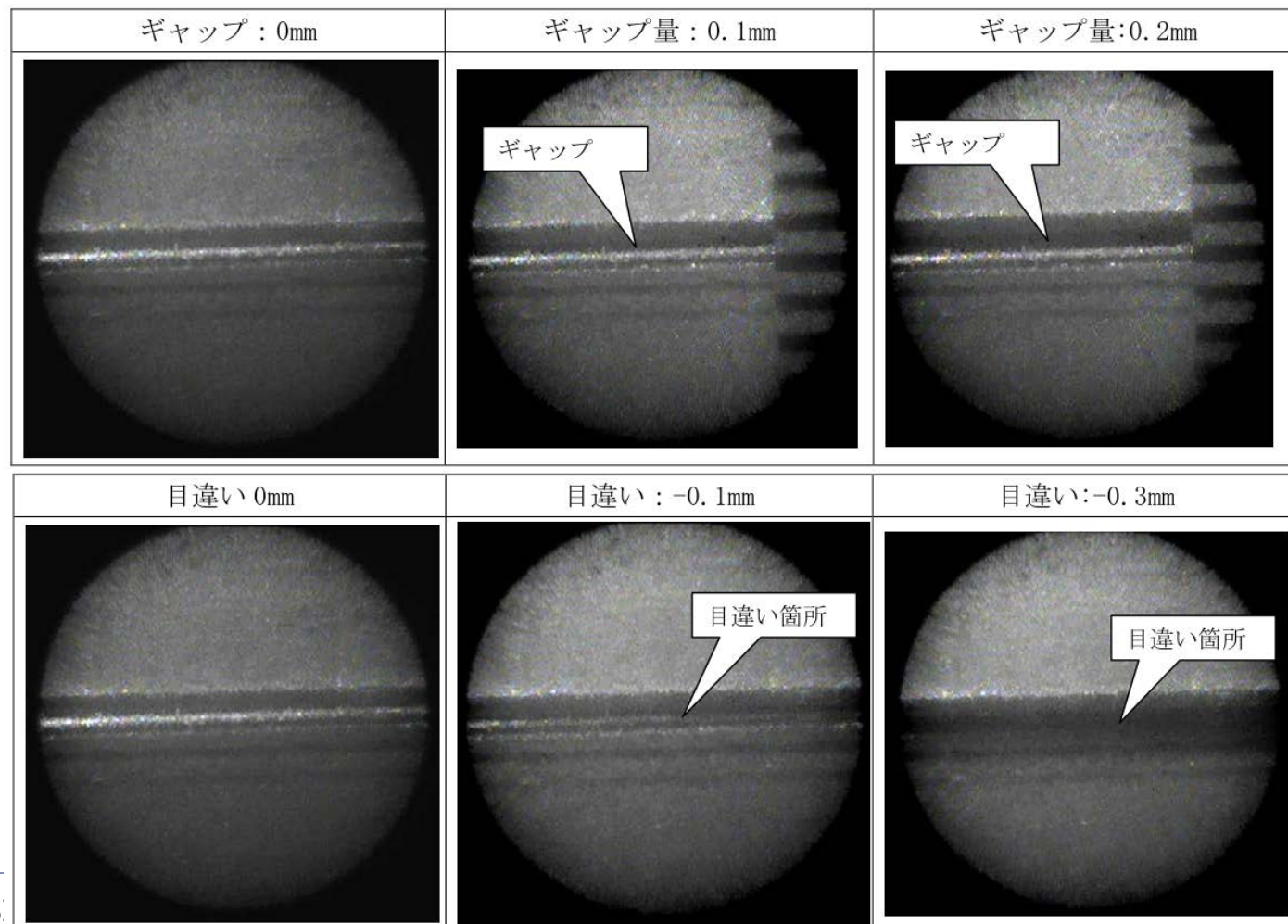
- 耐放射線性の観点から近赤外領域を利用
- 配管開先のギャップ・目違いの定量的計測
- 溶接中の溶融金属・溶接後のビード形状計測

近赤外用ファイバースコープ&近赤外用照明



# 開先観察ツールの検証試験を実施した

- 異なるギャップ・目違い条件で、近赤外観察を実施した
- 目違い・ギャップの分離及び絶対値計測には至っていない(課題)





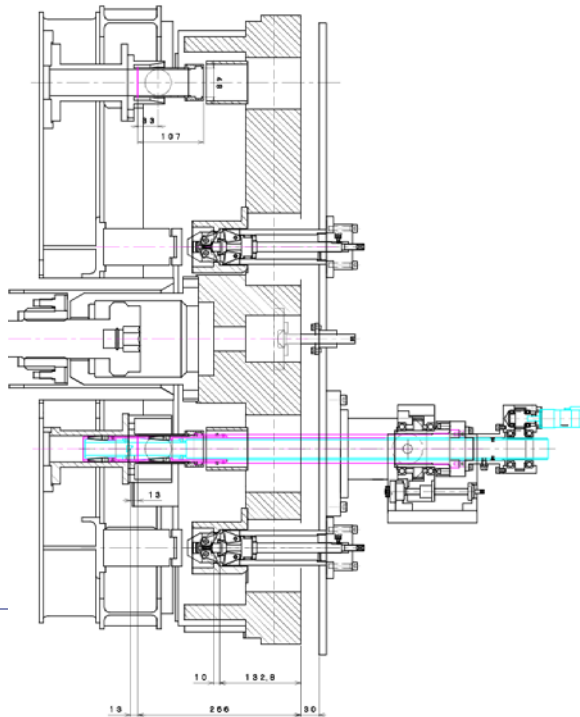
# Future works

## □ ツールベースプロトタイプを試作中

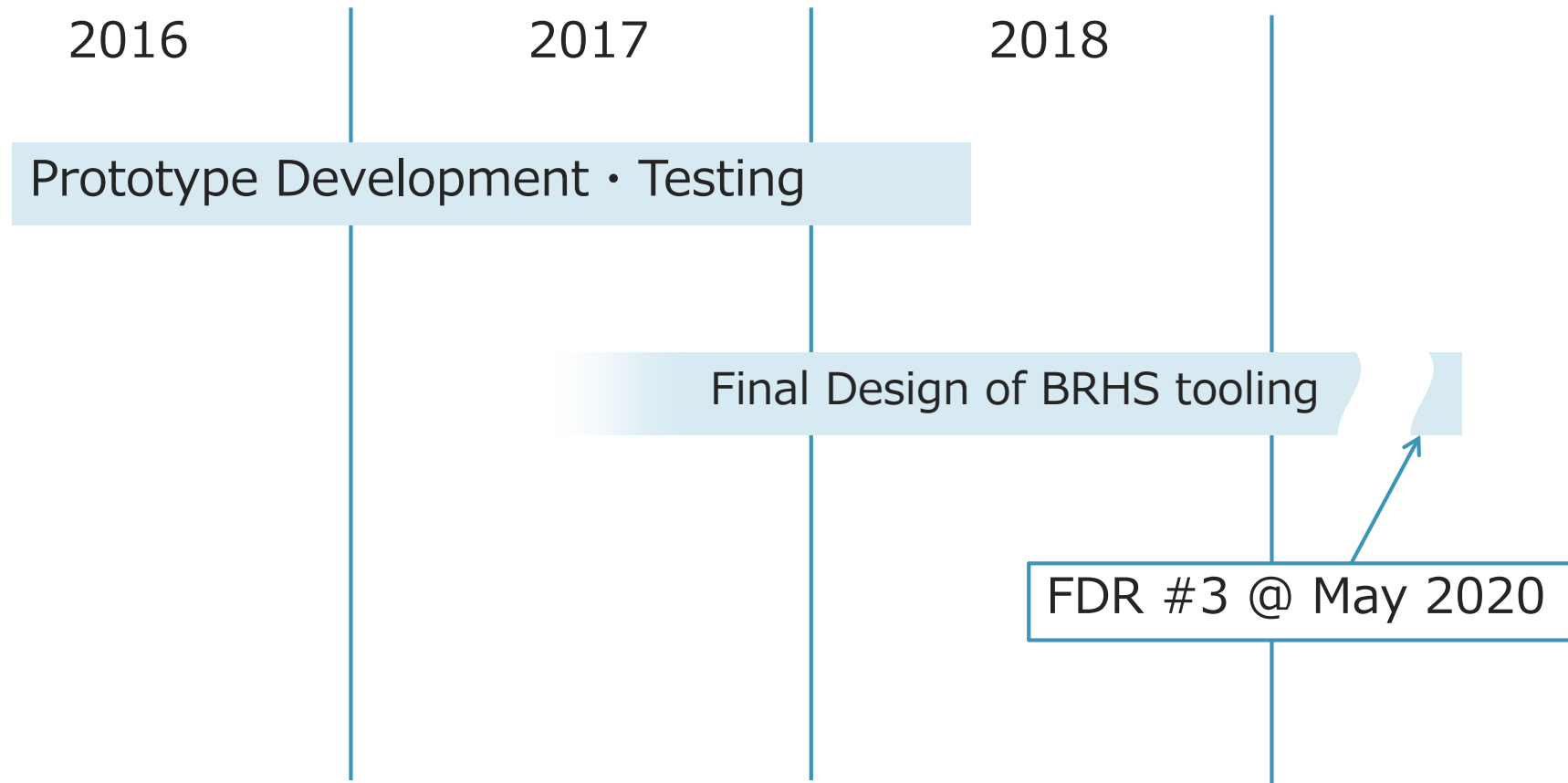
- ツールベースのFWへの設置
- MNPによるツールヘッドの把持・設置
- 開先合わせツールによる開先合わせ

これら溶接直前までの一連の検証試験を来年度実施予定

## □ 開先合わせ・溶接・観察ツールの詳細化・統合設計



# Overall schedule

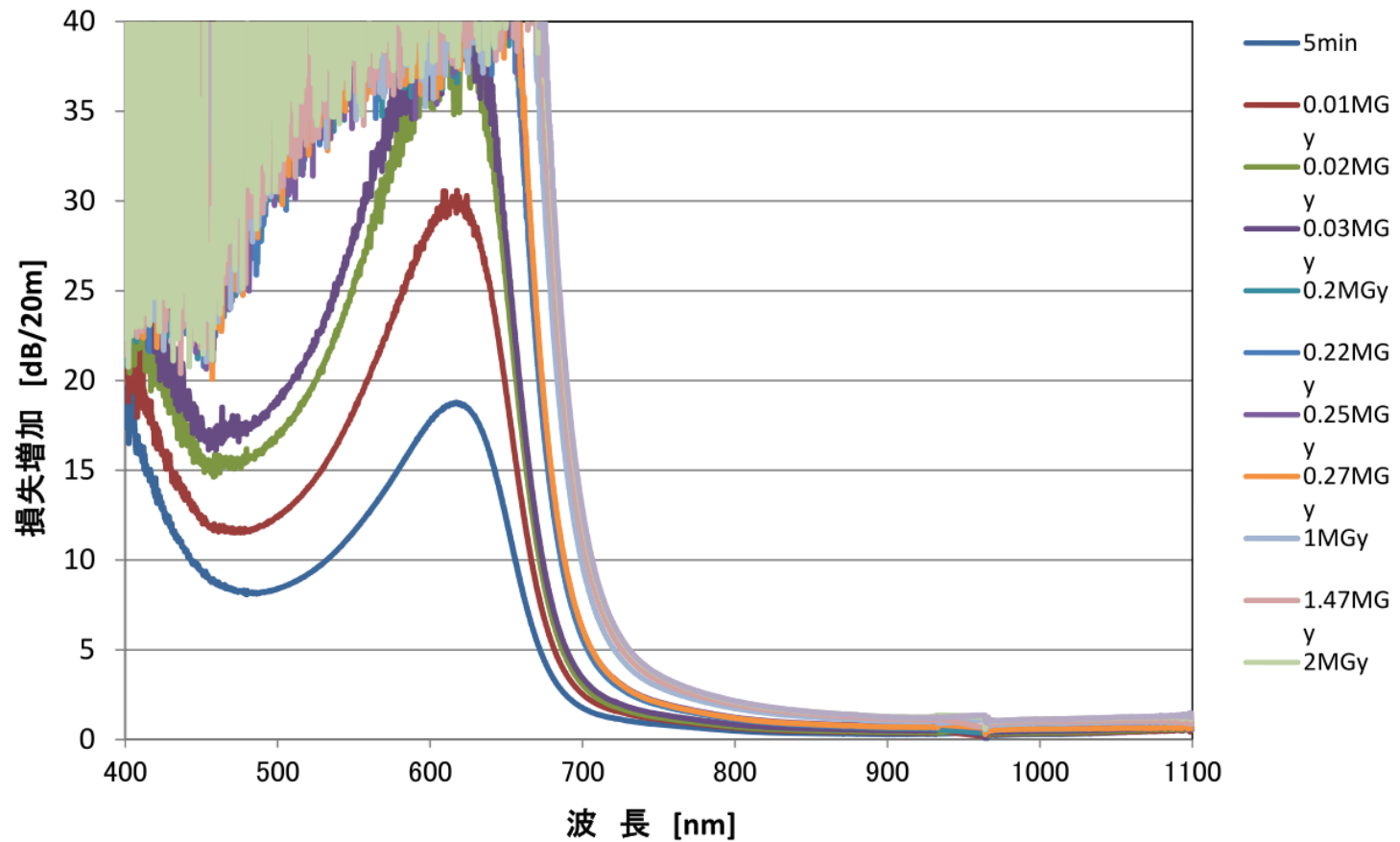


# Backup

---



## 耐放射線イメージファイバの伝送損失増加





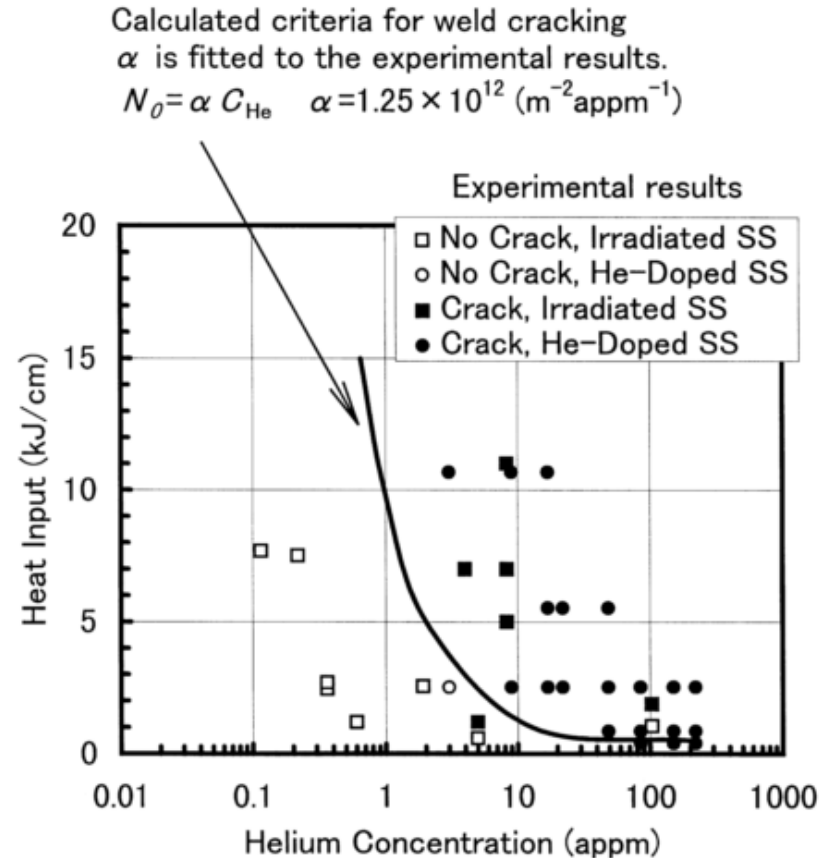


Fig. 5. Comparison of the calculated cracking criteria with results of welding experiments for neutron-irradiated stainless steels and helium-doped stainless steels [5,9].

