

超伝導加速空洞の作り方

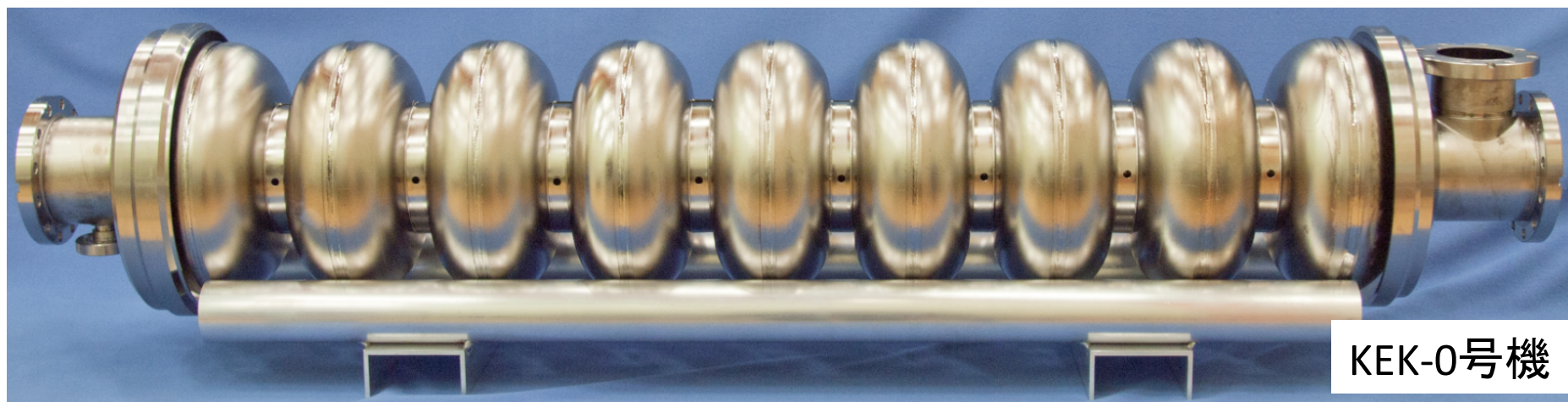
How to fabricate SCRF cavities

高エネルギー加速器研究機構

機械工学センター

山中 将

超伝導加速空洞



KEK-0号機

空洞本体の材質はニオブ(Nb)

Nb 41
ニオブ

マイナス264℃で電気抵抗がゼロになり、強力な超伝導磁石の素材になる。リニアモーターカーなどに使われるのもニオブの合金。

Nb 41
ニオブ

リニアモーターカー、画像診断MRI装置で 사용되는超伝導磁石の材料。車のボディや石油のパイプライン、戦闘機の超合金としても使われている。

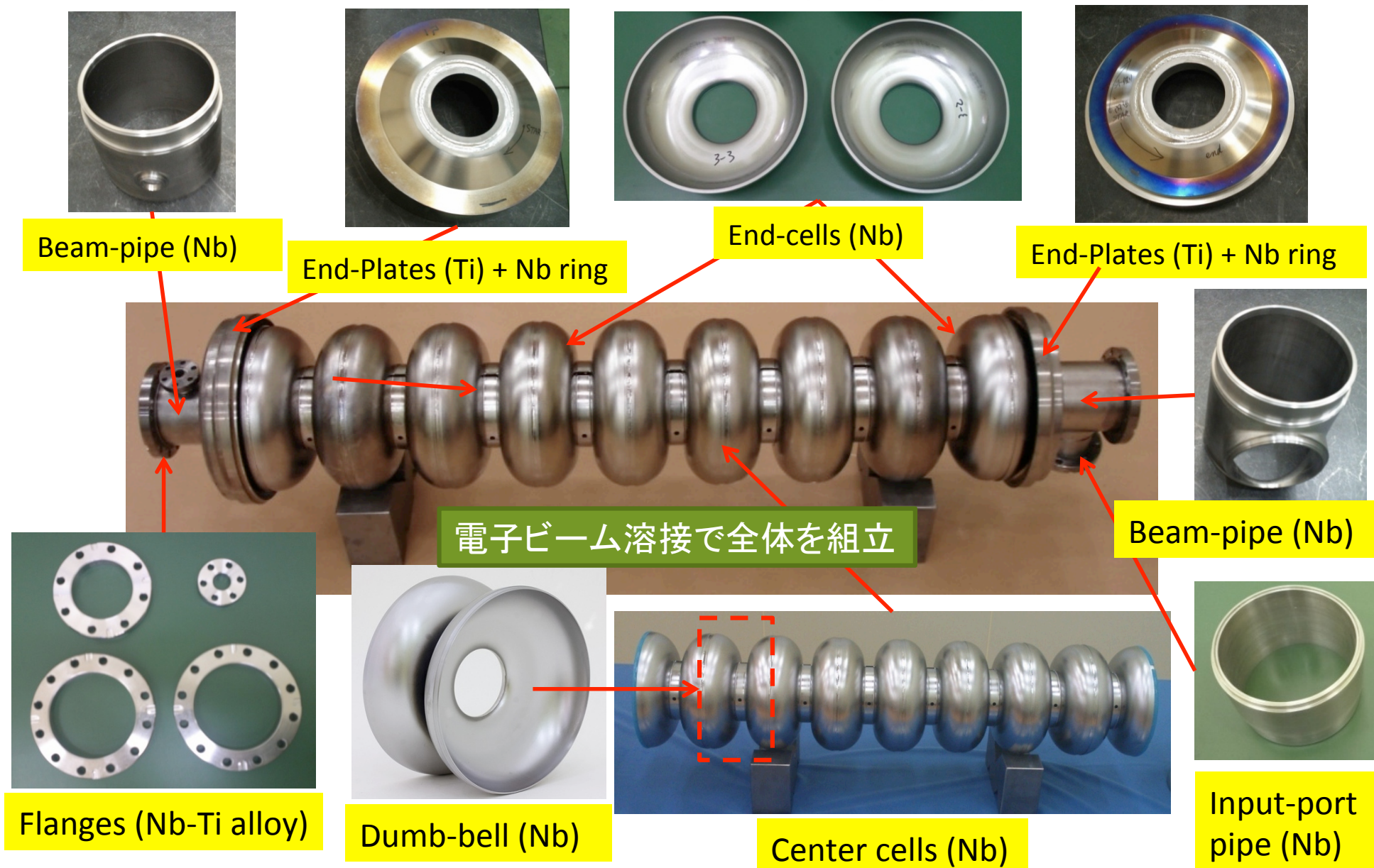
東京エレクトロンのWEBサイトより
<http://www.tel.co.jp/genso/periodic/index.html>

ニオブの特徴

材料	Mg	Al	Ti	Fe	Nb	Cu	W	Au
密度 (g/cm ³)	1.74	2.69	4.54	7.86	8.56	8.93	19.1	19.3
融点(°C)	651	660	1675	1535	2470	1085	3387	1064
ヤング率 (GPa)	65	73	103	200	103	123	345	80

- 超伝導加速空洞で使用するのは、純ニオブ
- 純度が高い必要がある。
- 残留抵抗比 (RRR: Residual Resistance Ratio) が高い必要がある。
- 東京電解 (日本) と Heraeus (ドイツ) から材料を購入している。

空洞を構成する機械部品



ハーフセルの作り方



素材(材料メーカーから納入)



プレス加工

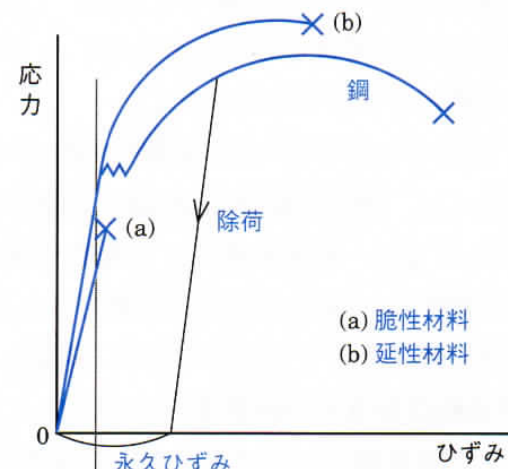


製品(ハーフセル)

身近なプレス製品



● 高エネ研, 山中 将



弾性変形
もとに戻る
変形

塑性変形
もとに戻らない
変形

塑性加工

プレス工程



プレス機(加圧能力:150 t)



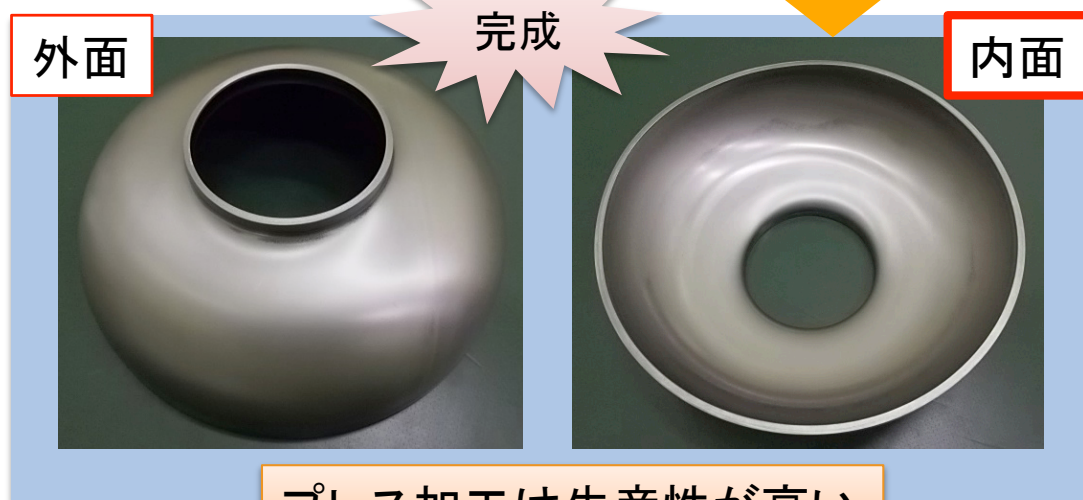
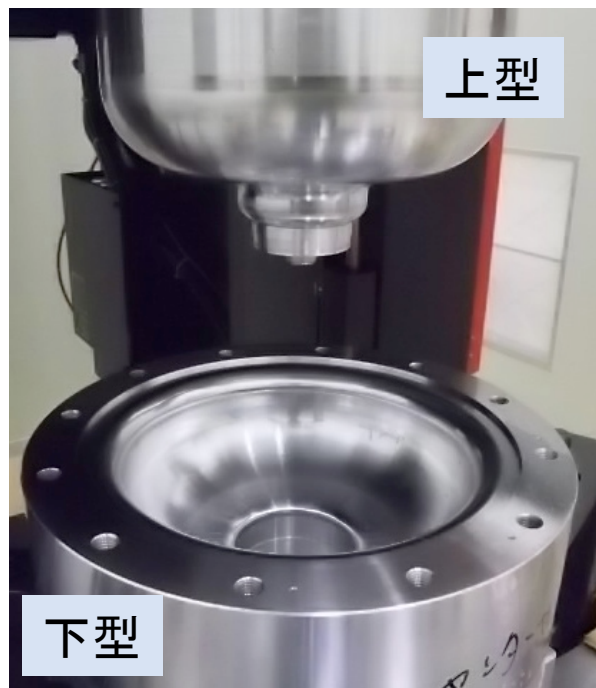
上下に動く

ここに材料を置く

金型

一般的に金型は固い材料で製作されるが、ニオブは柔らかいので、この金型はジュラルミン(アルミ合金)できている。

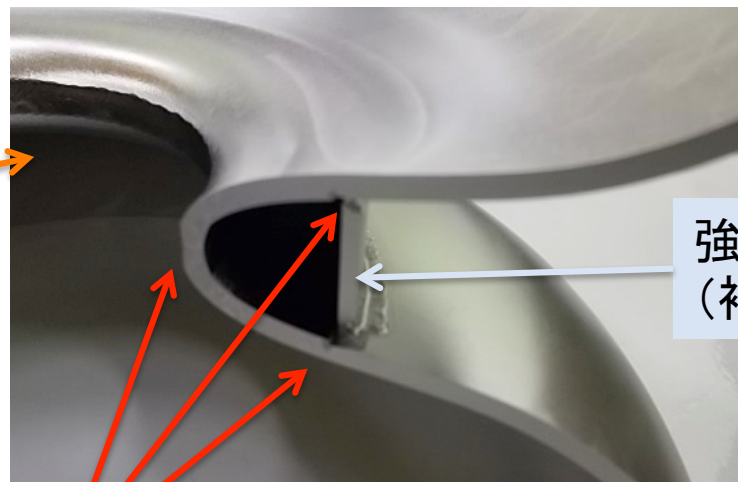
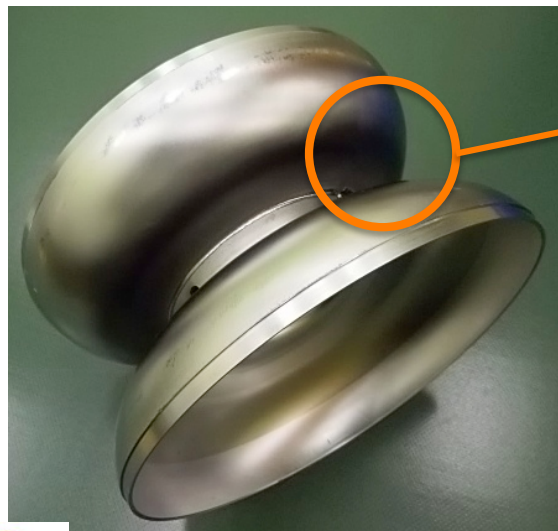
プレス工程2



プレス加工は生産性が高い

センターセルの作り方

ハーフセル 2個を結合



強め輪
(補強材)

カットモデル

溶接で結合する

溶接: 紀元前3000年(新石器時代)ころから~古く知られた技術



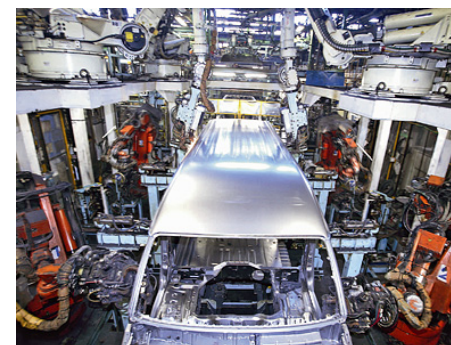
ダンベルと呼んでいる



アーク溶接



ガス溶接(船舶)

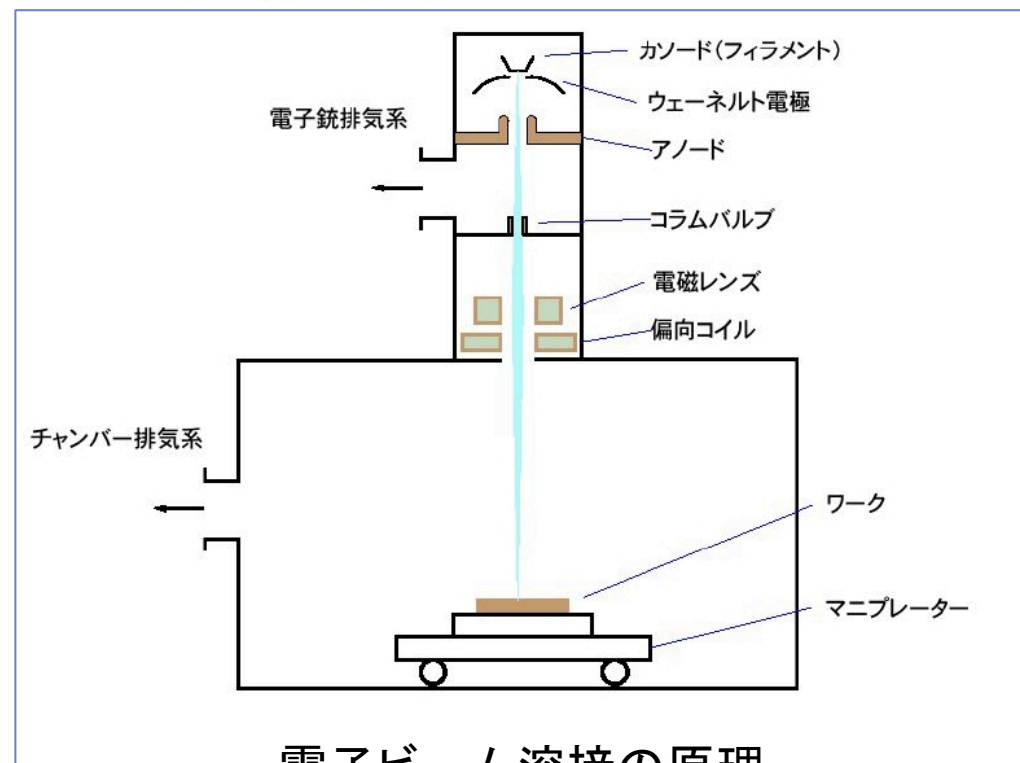


スポット溶接(自動車)

電子ビーム溶接機

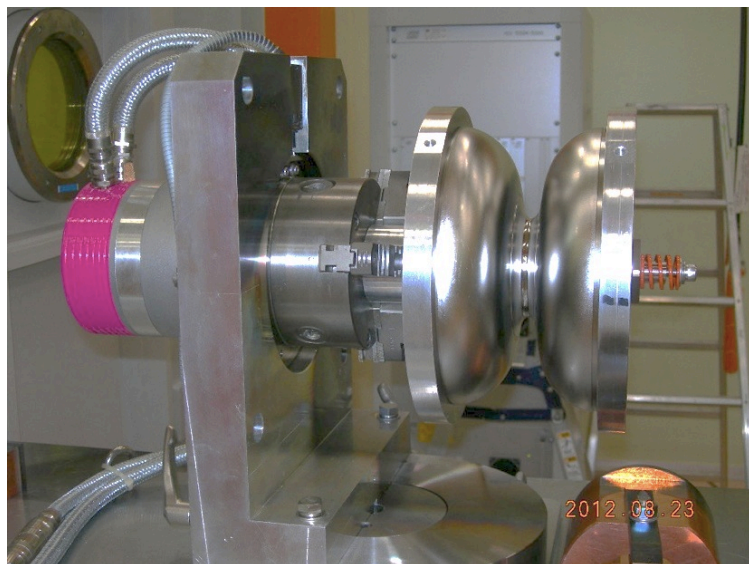


ドイツ SST社製

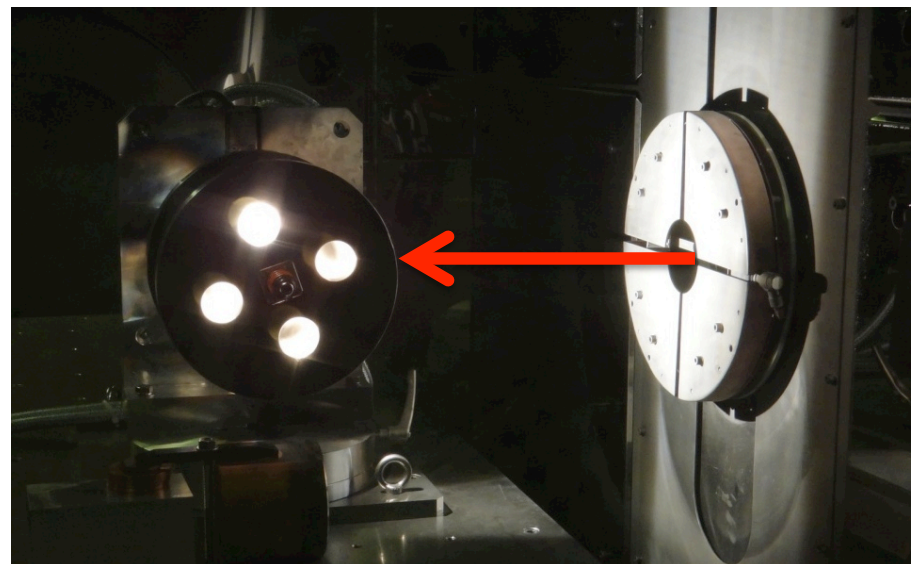


電子銃(定格出力 15 kW)
 電圧 60~150 kV
 電流 0~100 mA
 チャンバーの寸法:
 3200×1500×2200 mm

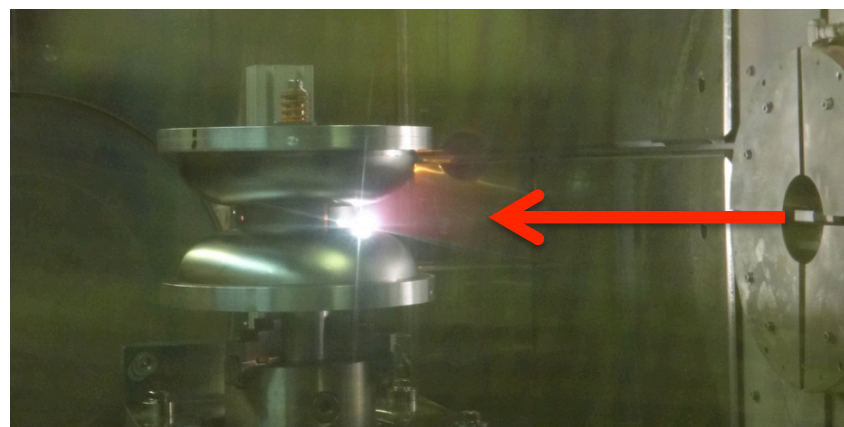
ダンベルの溶接の様子



回転治具に装着



アイリス部溶接中

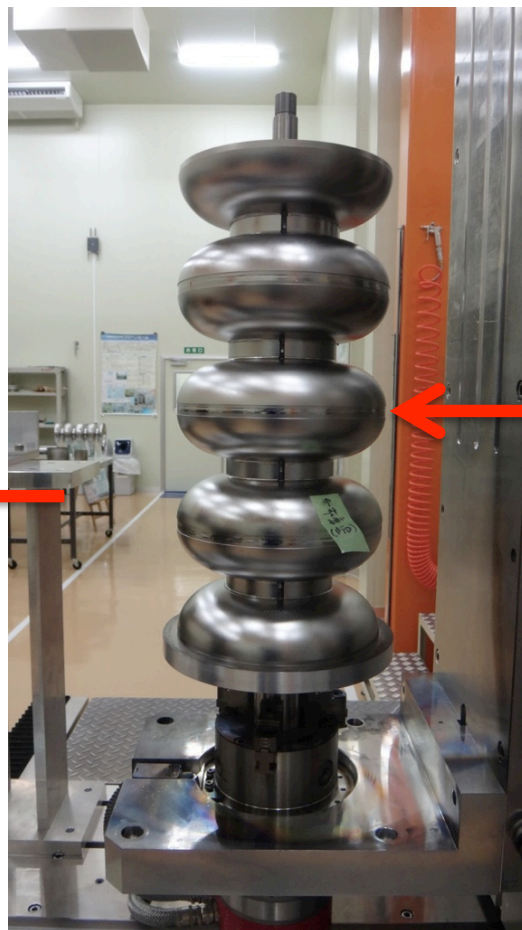


強め輪の溶接の様子

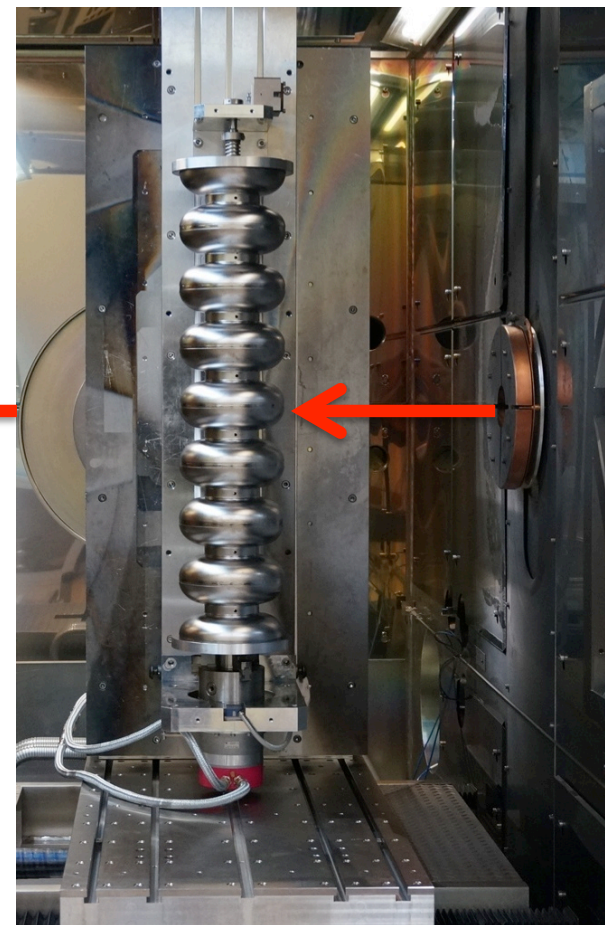
多ダンベル化



2ダンベル



4ダンベル



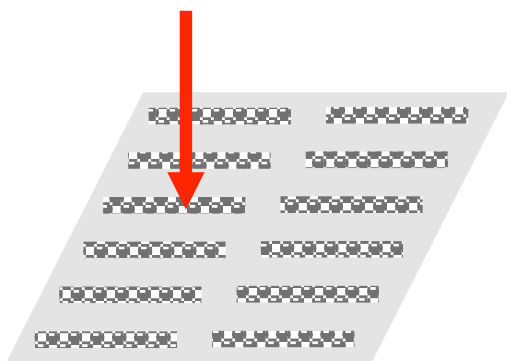
8ダンベル

ダンベルを縦に重ねて、赤道部を溶接する

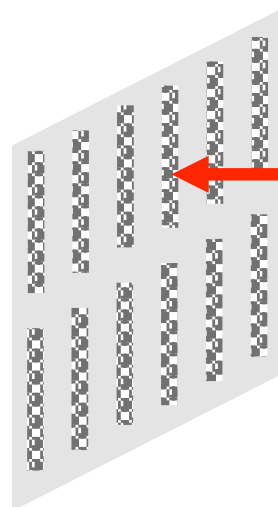
ニオブ材の電子ビーム溶接は難しい

溶接テスト(センターセルアイリス部向け)

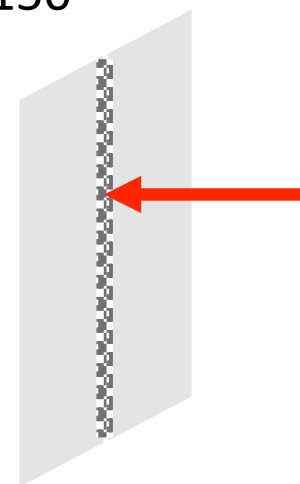
1. G:縦, W:横
(一枚板材 t2.6 mm)



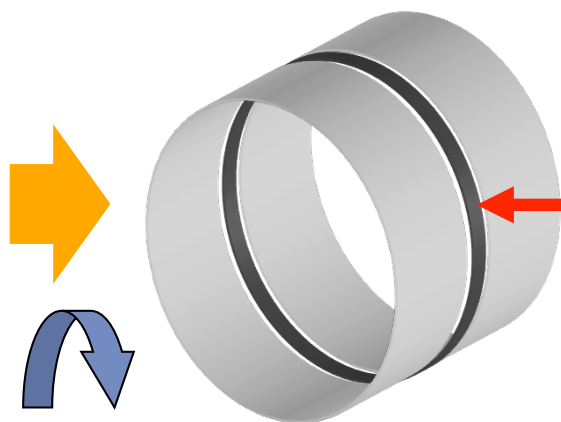
2. G:横, W:縦
(一枚板材)



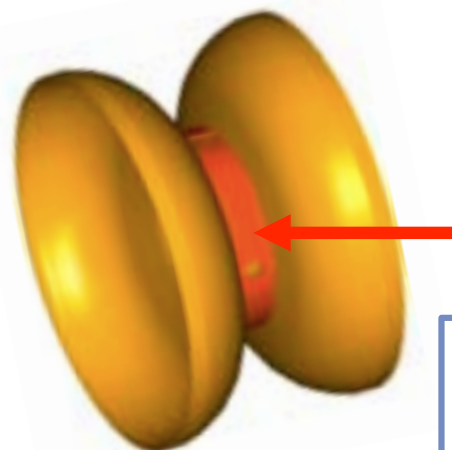
3. 板突合せ
24×150



4. リング突合せ
Φ73×15

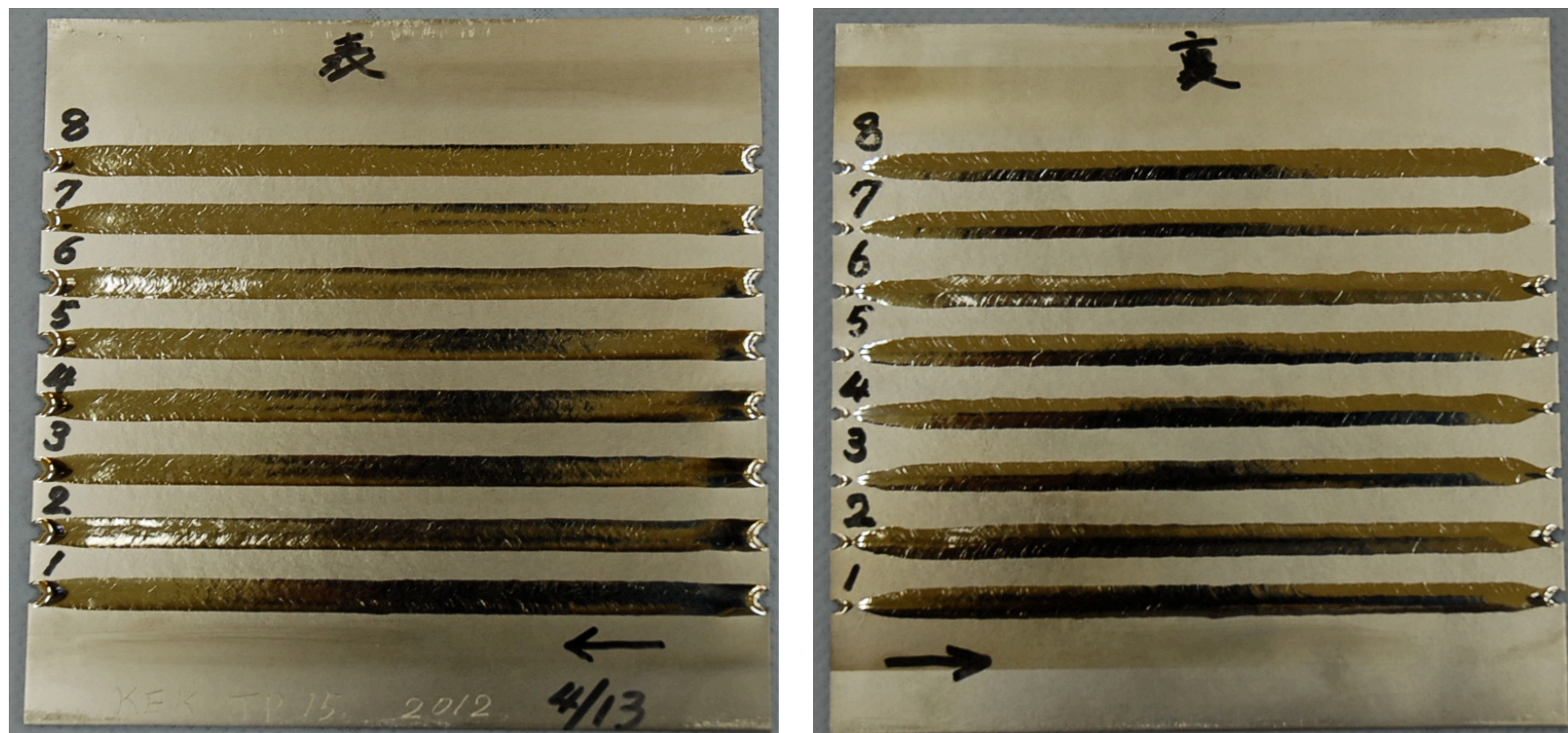


5. ダンベル突合せ



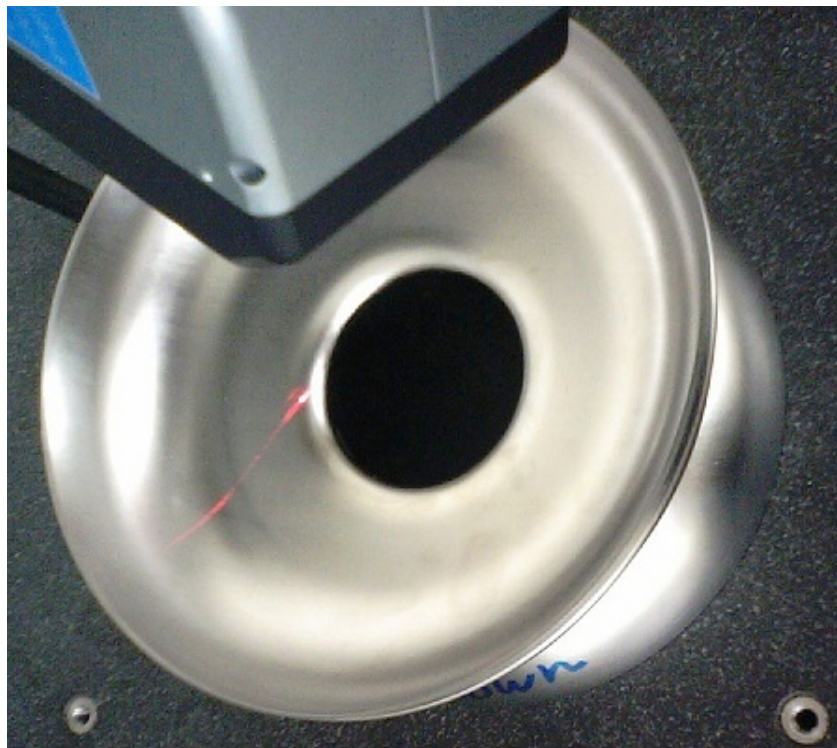
赤道部についても、
同様なテストを実施

平板試験片の結果



表面から溶接し、裏面に貫通ビードを得るのが基本
ビーム電圧・電流等の溶接条件を変えて試験を行い、
安定したビードが得られる条件を探索

形状測定の様子



測定の様子
レーザーが当たっている



回転ヘッド

通常の3次元測定機の
ヘッドに本測定機を取り付ける

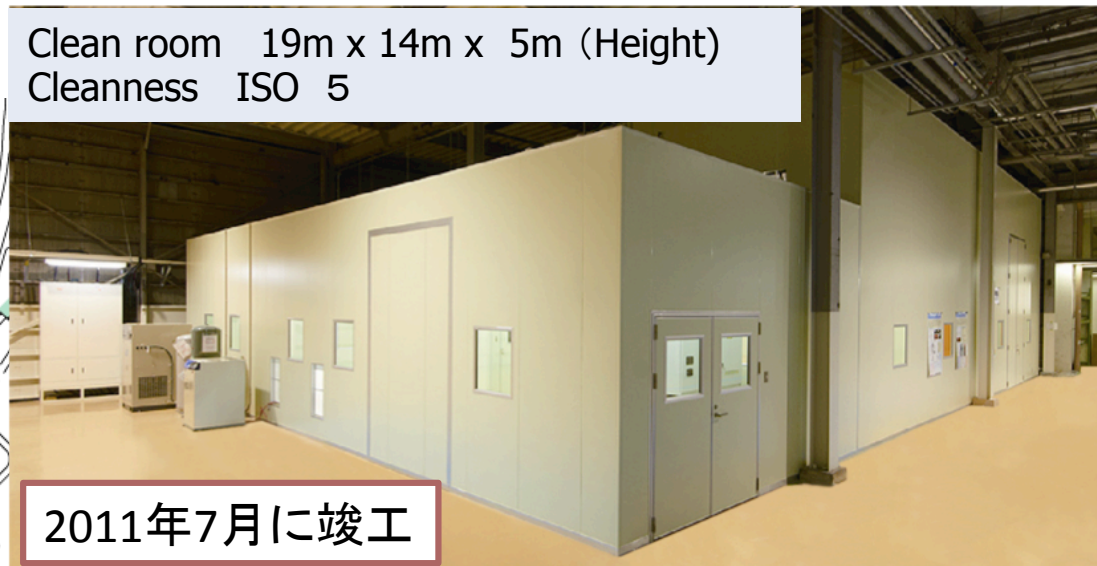
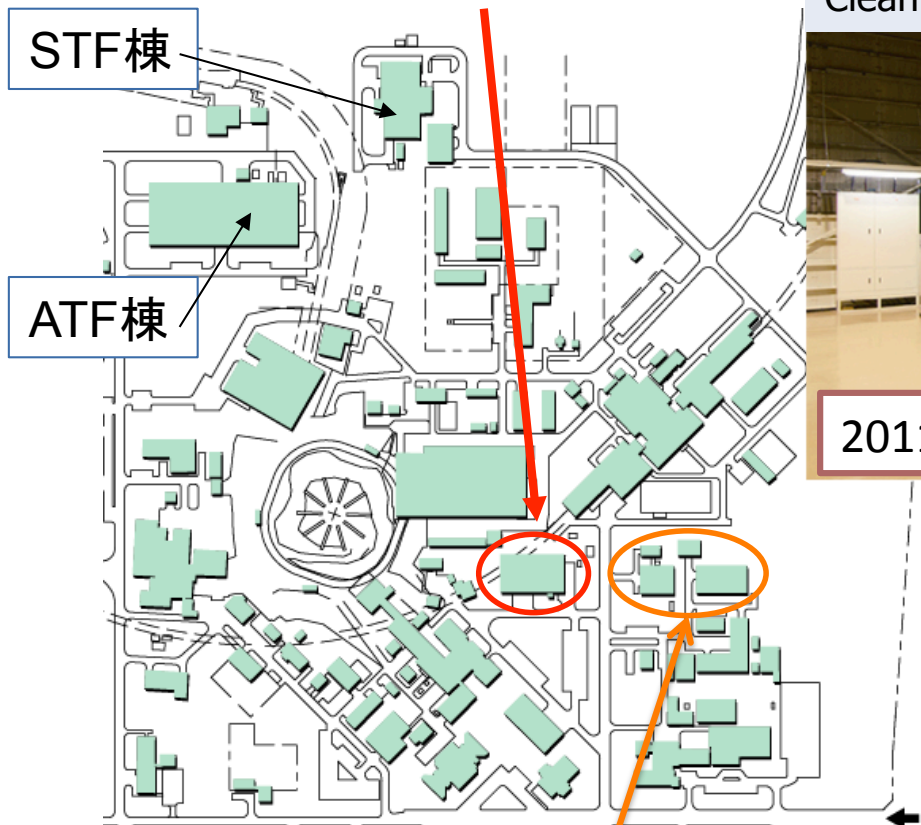


通常の接触式の固定プローブ

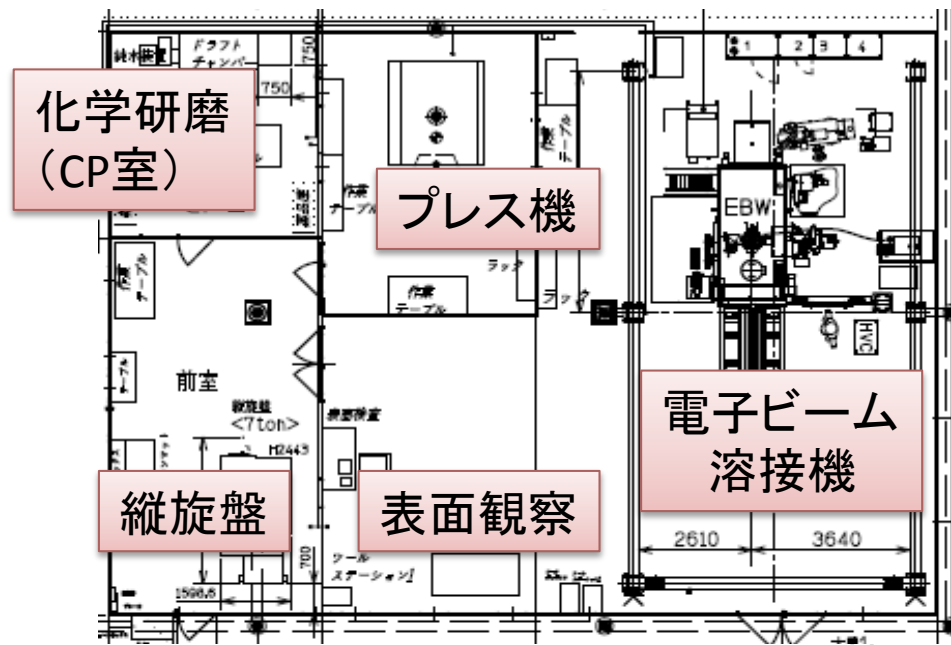
空洞製造技術開発施設の紹介

Cavity Fabrication Facility (CFF)

Clean room 19m x 14m x 5m (Height)
 Cleanliness ISO 5



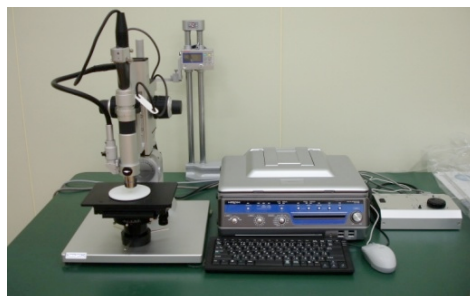
機械工学センター



CFFの主な設備



電子ビーム溶接機(ドイツSST社製)
最大ビーム電圧150 kV



マイクروسコープ
(表面観察用)



サーボプレス機
(アマダ製)

空洞製造に必要な設備
が一通り揃っている



化学研磨(CP)室



CNC縦旋盤(森精機製)

量産化の検討

ILC計画では、17,000台の空洞製造が必要

5年間で製造すると仮定すると
1年間の稼働日を210日として、 $\frac{17,000}{210 \times 5} = 16$

1日あたり、16台 製造すればよい。



- ・手作りでは、無理
- ・生産設備(工場)が必要
- ・大規模な工場を建設するほどでは無い



最適な生産設備の規模は？