

高い引張強度を有するCu系材料とSUS等の 異材料接合技術

2026-7-16

三重大大学 中村孝夫

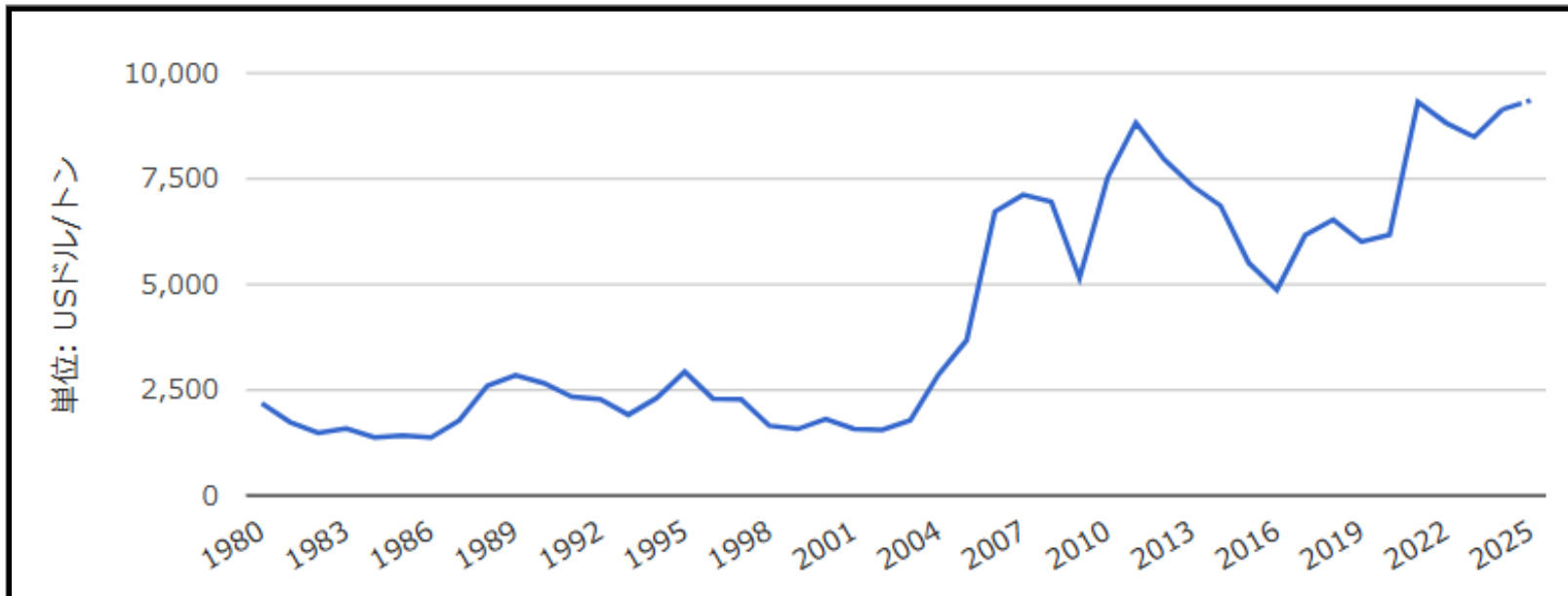
<内 容>

- 1) 特許出願の背景と先行技術
- 2) Cu系材料による真空容器開発と課題
- 3) 課題解決のためのCu系材料、Cu系材料SUS溶接技術開発

課題解決へのアプローチ：
Cu/SUS溶接目標ではなく、真空容器開発から派生

特許出願の背景①

銅価格の推移（世界銀行・IMF等月次データ）

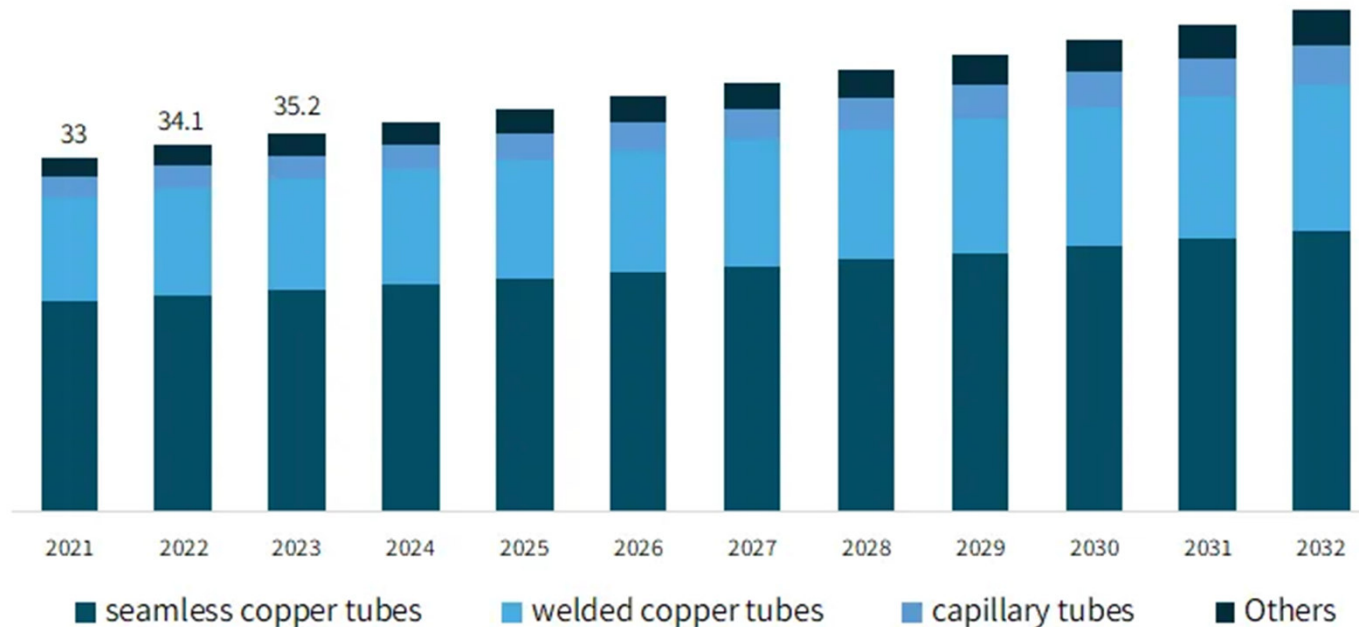


現時点
12,000ドル/トン
⇒ 180万円/トン

- ✓ 銅価格の上昇は、EV・再エネに加え、AIデータセンターの急増による電力インフラ需要の拡大によって加速
- ✓ 大規模銅鉱山の新規開発は進められているものの、開発リードタイムの長さや環境規制により、供給量は逼迫
 - ⇒ 銅使用量の削減および代替材料との接合技術が重要課題（AIハーネスなど）

特許出願の背景②

Copper Tube Market Size, By Product Type, 2021 - 2032 (USD Billion)



Source: www.gminsights.com

2021-2032年 Cu管市場予想
出典：グローバルマーケット
インサイト（2024年）

2023年：35B\$（5200億円）
CAGR:3.5%

- ✓ 継ぎ目が無い銅管は歴史的に高力、耐食性および滑らかで、均一表面のような優秀な特性による市場占有を支配
- ✓ 溶接された銅管は、市場に著しく貢献しながら、溶接プロセスに起因する潜在的な低品質のためにシームレスなチューブから競争に直面

特許出願の背景：先行技術

<先行特許調査(特許成立)>

1) A社

特願2023-82404 (2023/5/18出願)

特開2024-165856

- ✓ SUS主成分の領域とCu主成分の領域を作り分ける
- ✓ アーク溶接で溶加棒必要、溶加棒はCu-4.5%Feが最適
- ✓ 引張強度記載なし

2) B社

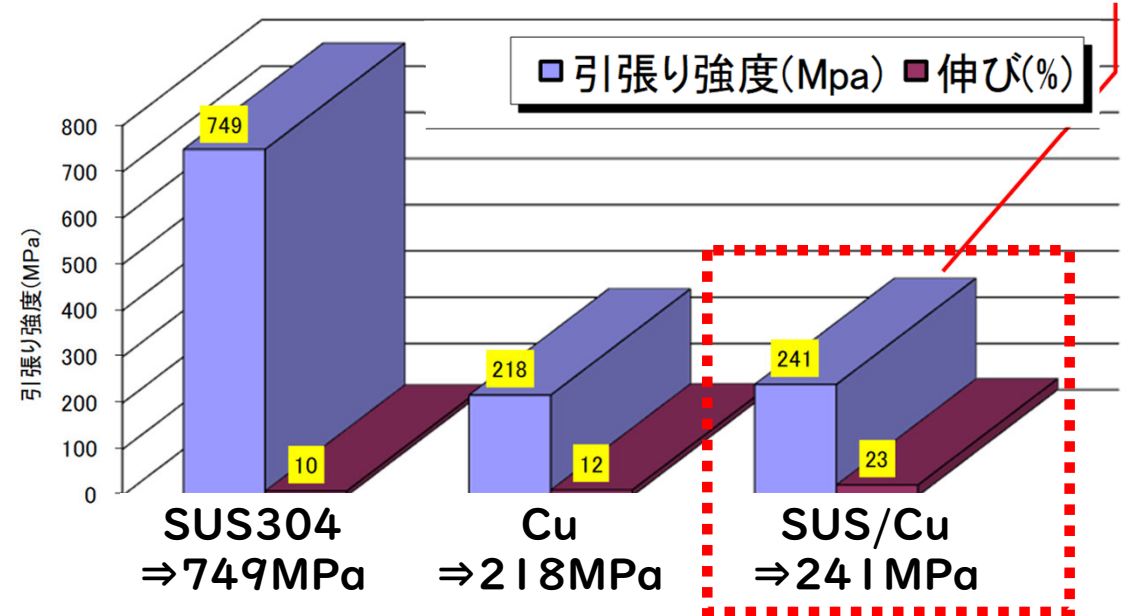
特願2023-568608(2023/8/2出願)

WO2024/116471

- ✓ 信頼性が乏しい銀ロウに代わる溶接方法としてTIG溶接で設備、条件検討
- ✓ 非常に細かい規定
- ✓ 引張強度記載なし

<東成エレクトロビーム(株)>

電子ビーム溶接:SUS, Cu、SUS/Cu溶接部材引張試験

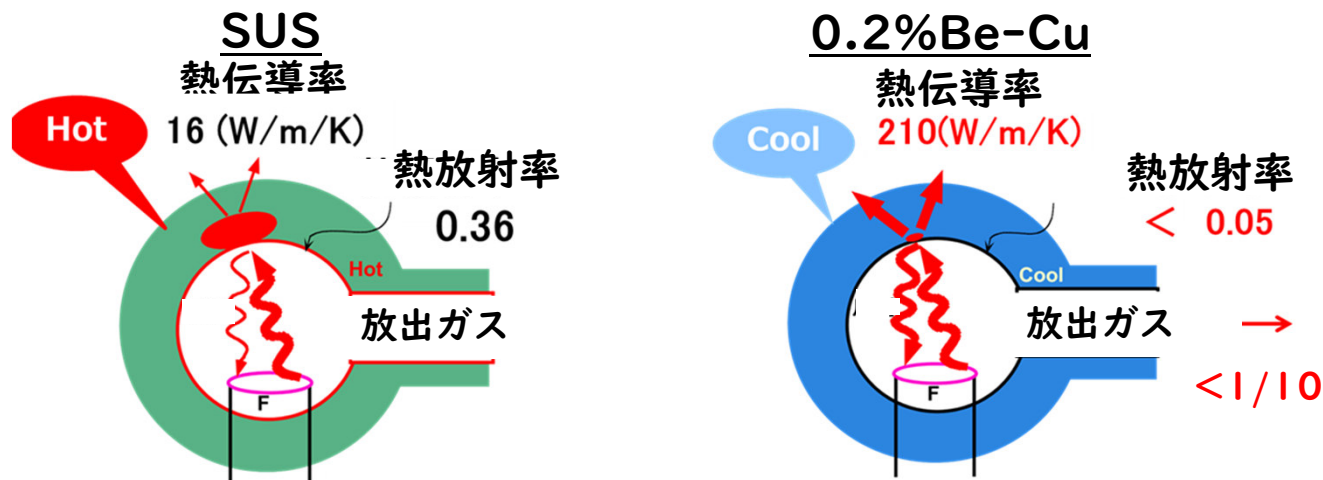


- ✓ SUS/Cu溶接部材引張強度⇒Cuで律速
- ✓ 電子ビーム溶接では精密な制御不可

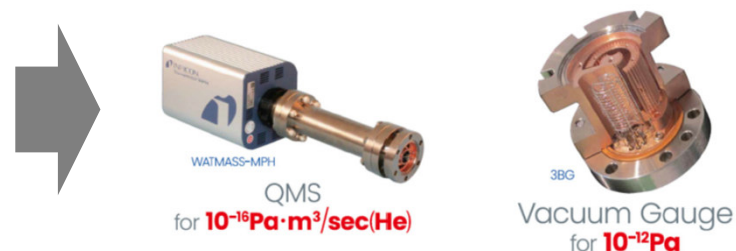
真空関連の研究開発からの派生でSUS/Cu溶接技術を開発 ⇒ 真空技術、SUS/Cu溶接技術の順に説明

真空材料として一般的なSUSとBe-Cuの比較

SUS対比0.2wt%Be-Cuの熱伝導率13倍、熱放射率は1/7、
放出ガス量1/10 ⇒ 真空容器部材として有望



材料コスト高、**溶接不可**
(切削のみで加工)



超高真空用小型部品のみ適用
(出典：東京電子(株)HP)

ミニマルファブシステム(産総研)：
低コスト・多品種少量生産システム

- 短納期
- クリーンルーム不要
- 高効率・低設備コスト



出典：産総研HP

ウェハサイズ
0.5"

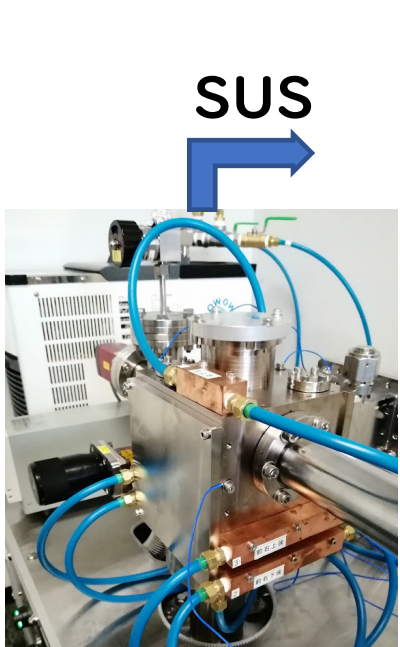


出典：産総研HP

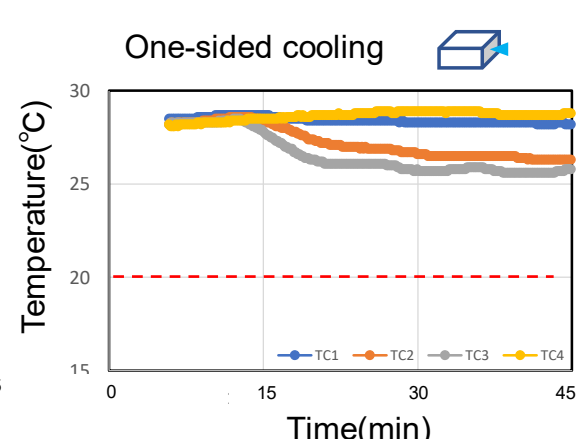
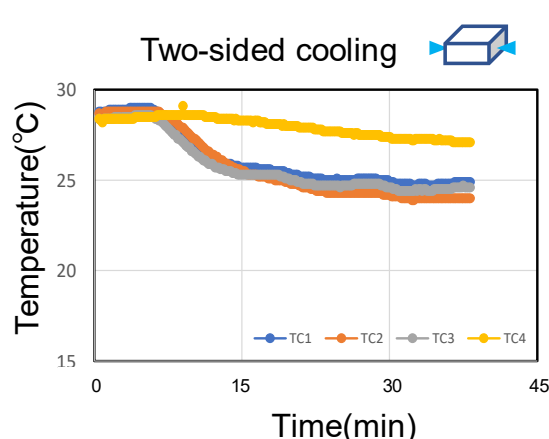
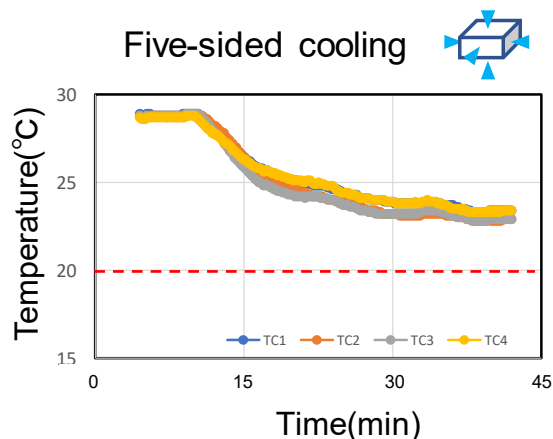
規格化された小型装置
W294×D450×H1440 mm
⇒ 小型真空容器使用：材料コスト低
Be-Cu適用可能性あり

SUSと比較したBe-Cu優位性①：真空容器の温度均一性

ミニマルファブで使用する真空容器をSUS、Be-Cuで作製 ⇒ 容器冷却特性評価

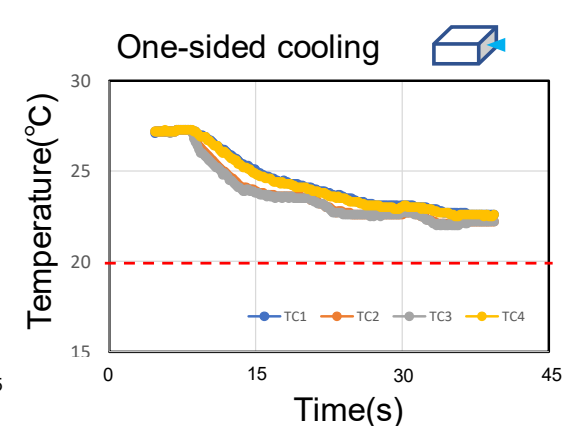
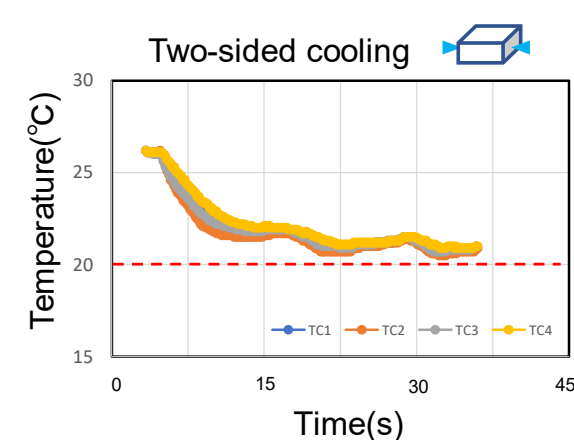
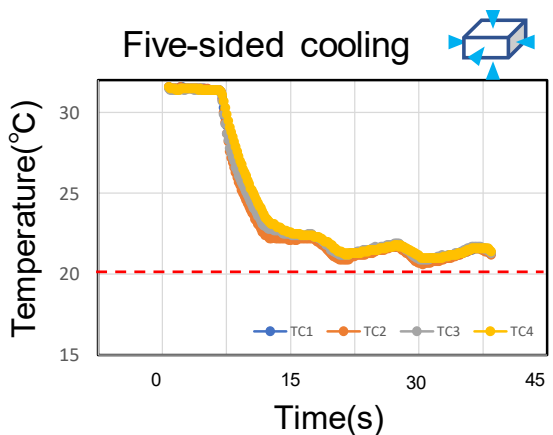


SUS



小型真空容器
(W,D,L:140mm)

Be-Cu

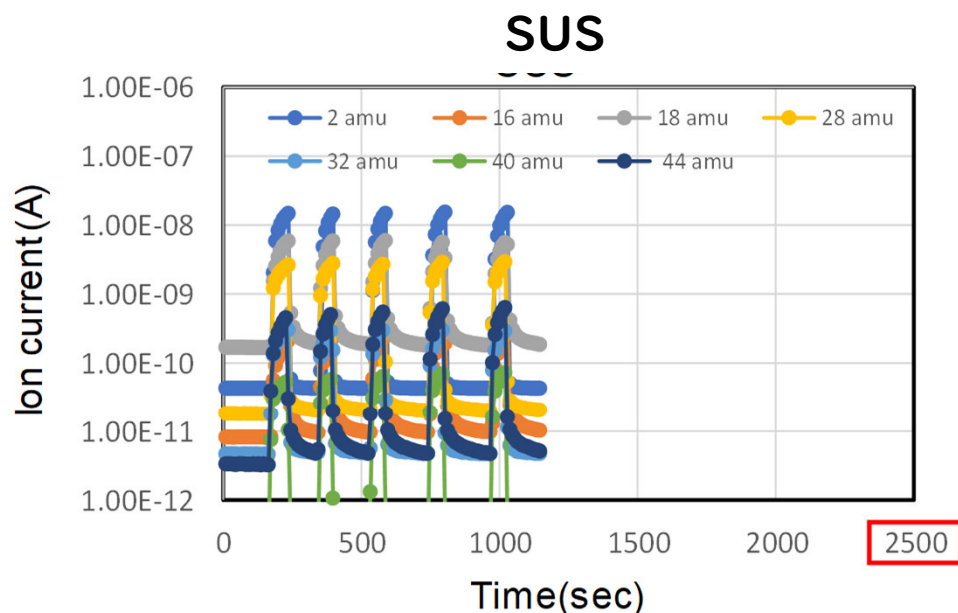
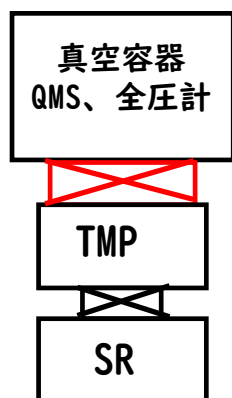


Be-Cuの高熱伝導性から容器温度均一性: $\leq \pm 1^\circ\text{C}$ 、ベーキング後冷却速度: 1/2

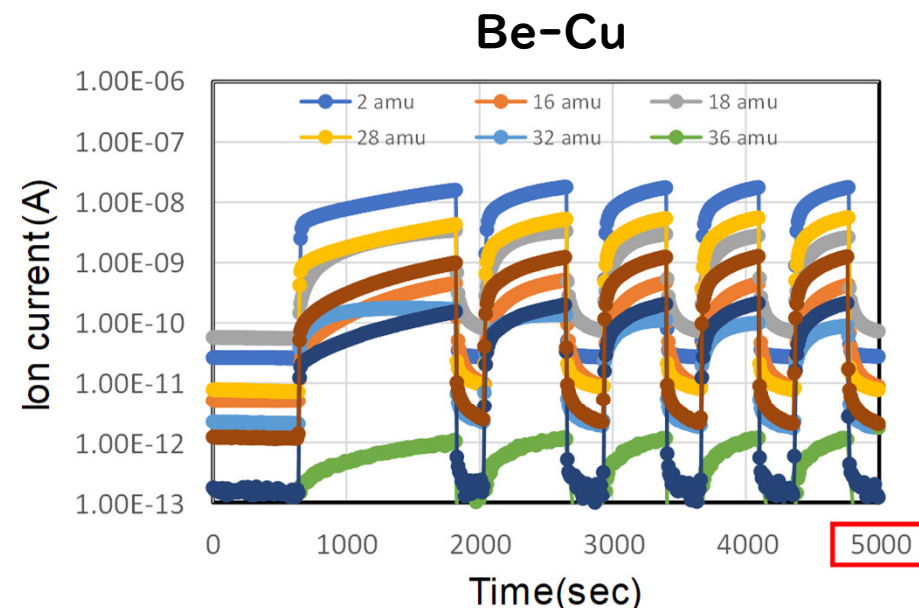
SUSと比較したBe-Cu優位性②：脱ガス抑制

真空容器を排気⇒バルブ閉： $5\text{E-}5\text{Pa}$ ⇒ 真空容器中のガス放出モニター ⇒ バルブ開： $2\text{E-}3\text{Pa}$

5回繰り返し



Rise time: 64s^* , 45s , 45s , 53s , 44s
Ave. 47s^*



Rise time : 1172s , 604s , 460s , 424s , 397s
Ave. 471s

The rise time ratio(SUS): 10 times

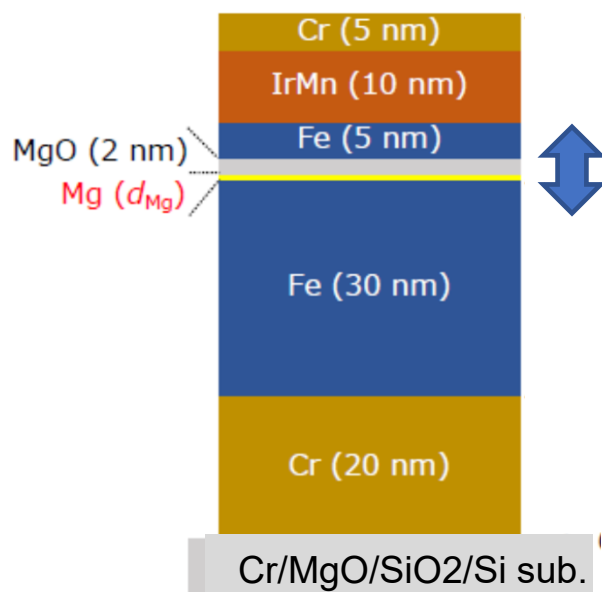
真空容器からの放出ガス量： $1/10$ + 真空容器温度均一性： $\leq \pm 1^\circ\text{C}$

⇒ Be-Cuは小型真空容器中で安定したプロセスを実現可能

三重大大学差別化技術:独自の真空・材料・装置化技術

TMR*センサ構造 (東北大)

*Tunnel magnetoresistance effect

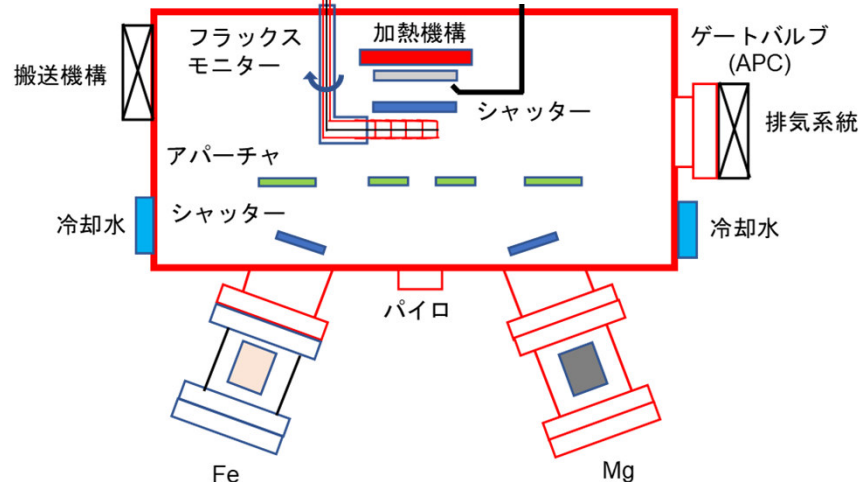


東北大より有益な情報

反応性の高いFe, Mgなどの成膜
で界面特性が最重要
真空容器:SUS ⇒ BeCu
その他独自コンポーネント開発

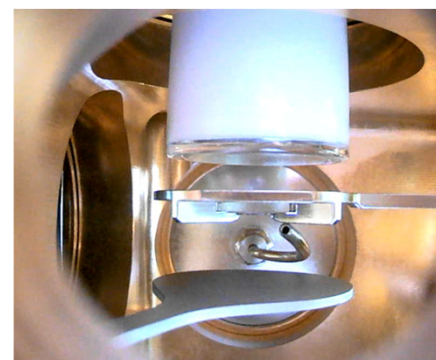
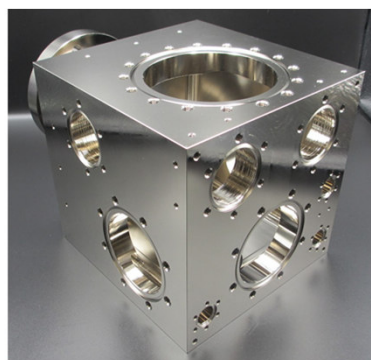
BeCu真空容器

酸素供給ノズル

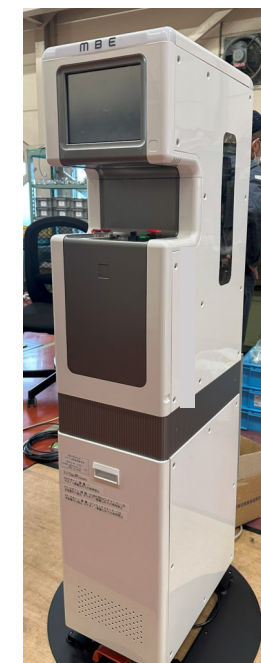


Be-Cu真空容器

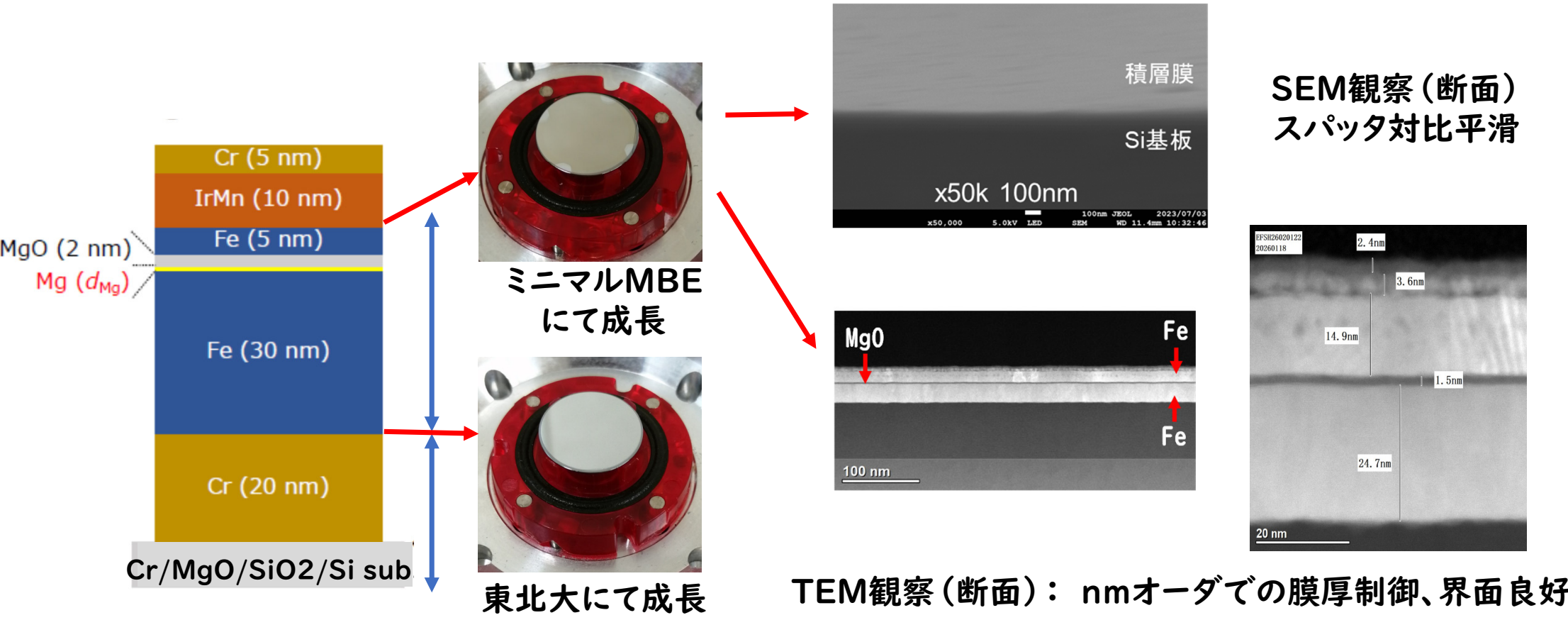
装置内写真



切削加工で作製



TMR積層構造作製・評価



Be-Cu製真空容器の優位性検証 ⇒ 切削加工のみでは材料・加エコスト高 ⇒ 溶接検討

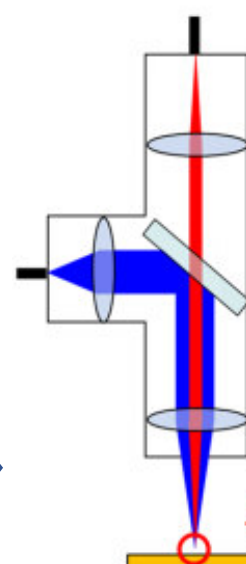
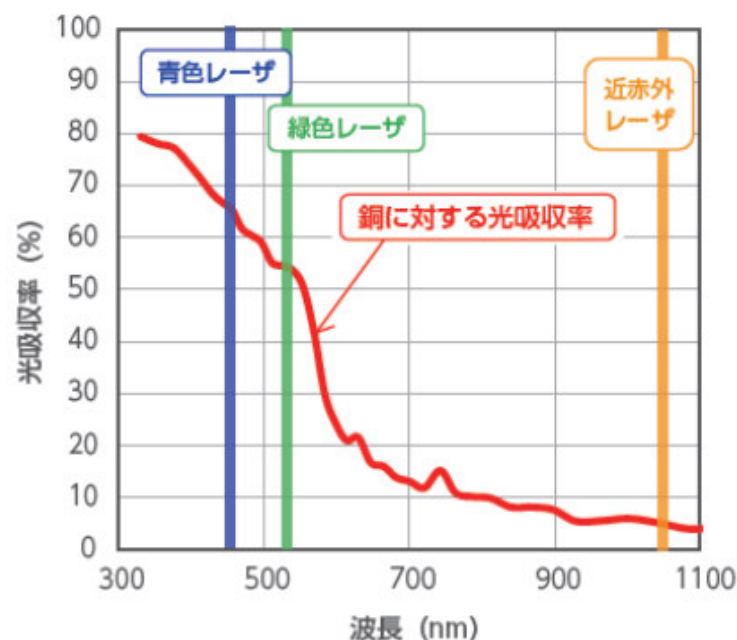
Cu系材料のレーザー溶接 (出典: 古河電工HP)

Cu溶接 ⇒ EVなどで用いられる部材で重要

課題：高熱伝導率による熱の逃げ

レーザー溶接では高出力化可能な赤外光の吸収率低

⇒ 溶接加工が難しい材料として認識

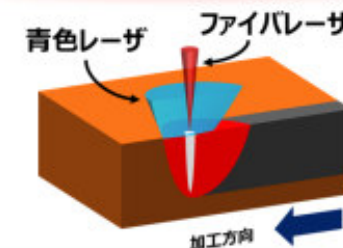


ハイブリッドレーザーでの加工現象

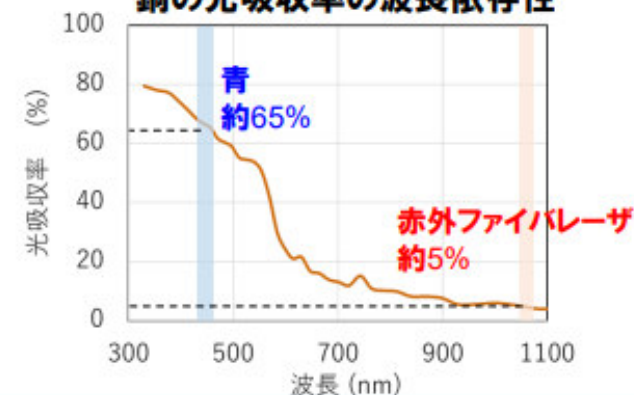
青色レーザーの先行加熱による
溶融池の拡大および安定化

+

ファイバレーザーによる深溶け込み加工



銅の光吸収率の波長依存性



各社Cuの吸収率が高い短波長レーザーの活用と検討

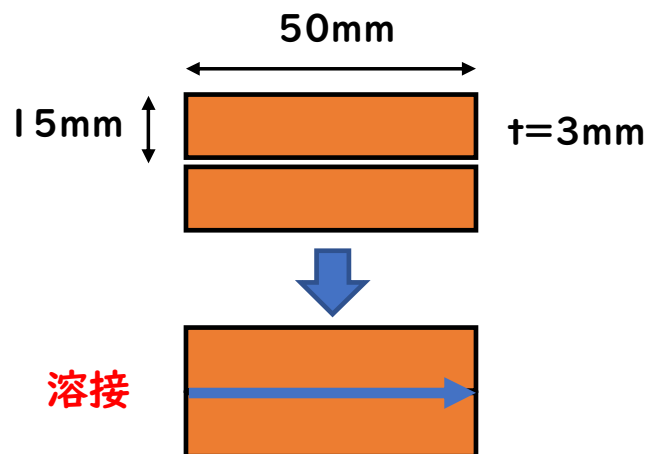
古河電工(株): Blue+IRのハイブリットレーザーによるCu系材料

の溶接可能な装置を製品化(BRACE-X,[®]

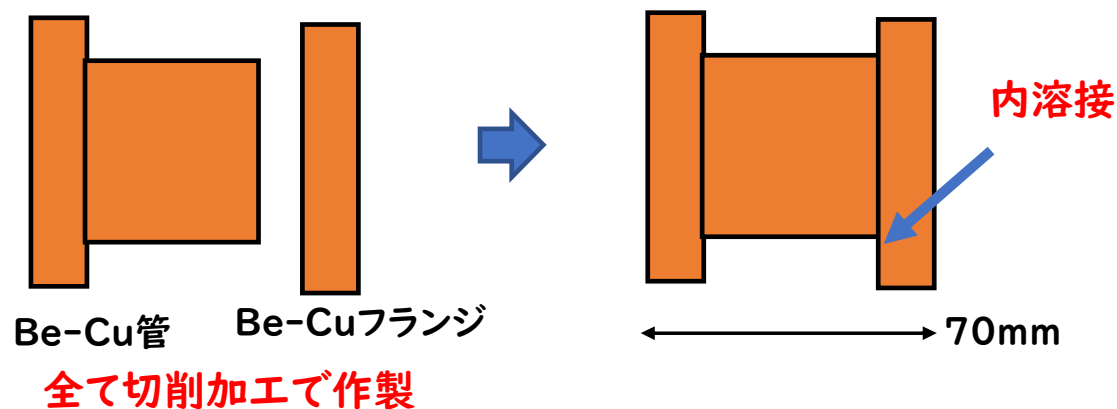
Blue 1kW+IR 3 kW)

Be-Cu材料のレーザ溶接実験

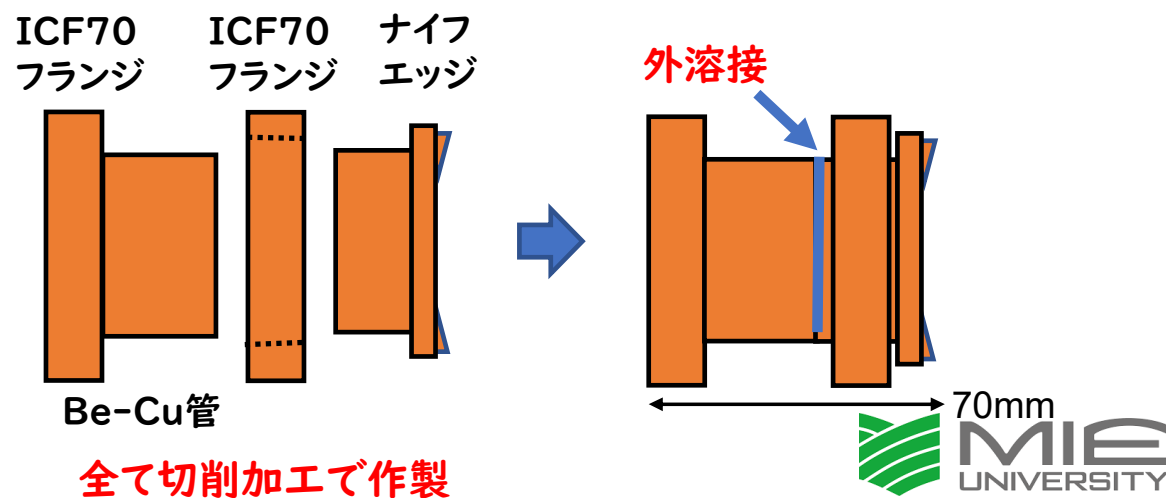
✓ 実験1 : Be-Cu板の突き合わせ溶接



✓ 実験2 : Be-Cu製ニップル管の突き合わせ溶接



✓ 実験3 : Be-Cu首振り短管作製 (切削加工では作製不可)



実験Ⅰ：Be-Cu板突き合わせ溶接

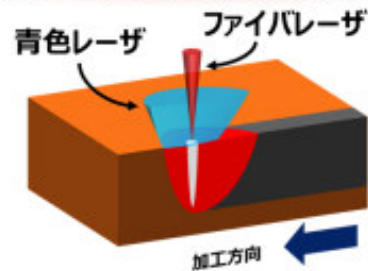
サンプル/溶接条件 (最適化後)

IR出力 : 3kW
青出力 : 0.95kW
照射速度 : 50mm/sec
溶接領域 : $450\mu\text{m} \times 450\mu\text{m}$
周波数 : 400Hz

青色レーザの先行加熱による
溶融池の拡大および安定化

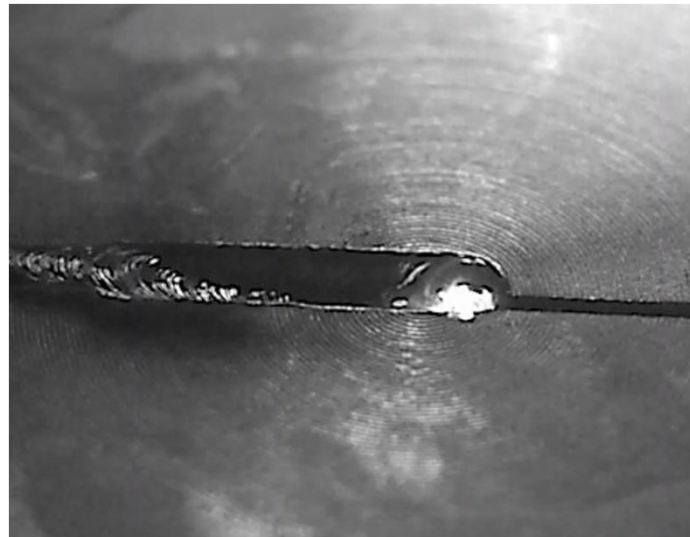
+

ファイバレーザによる深溶け込み加工



溶接時動画

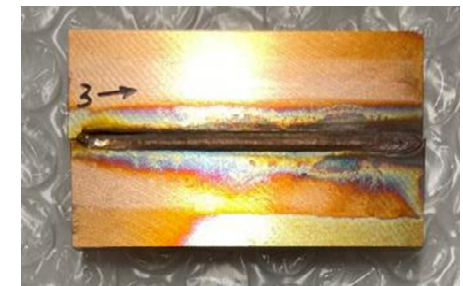
別サンプルの高速カメラ動画
(古河電気様より提供)



実加工速度: 50mm/s
10mmのフランジの隙間の封止
⇒ 動画0.004倍速再生

外観写真

溶接後



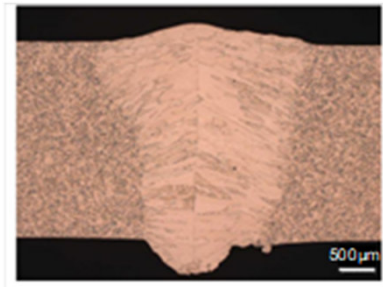
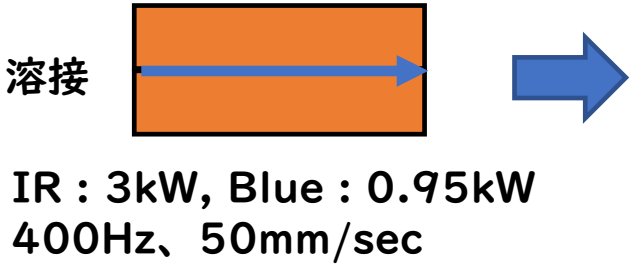
表面処理後



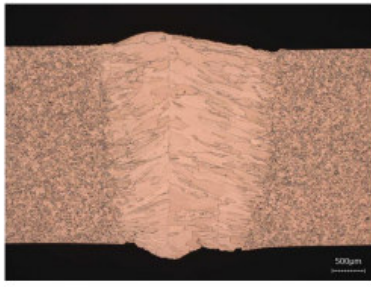
良好な溶接を確認

実験Ⅰ：Be-Cu板突き合わせ溶接評価

Be-Cu板突き合わせ溶接の断面観察



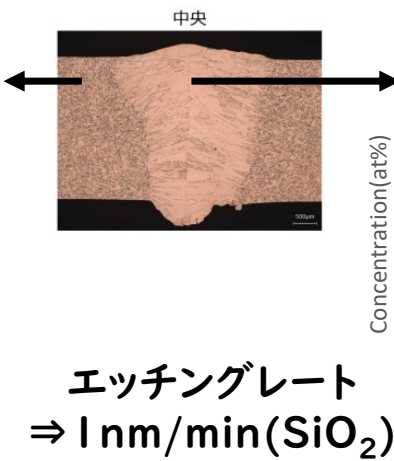
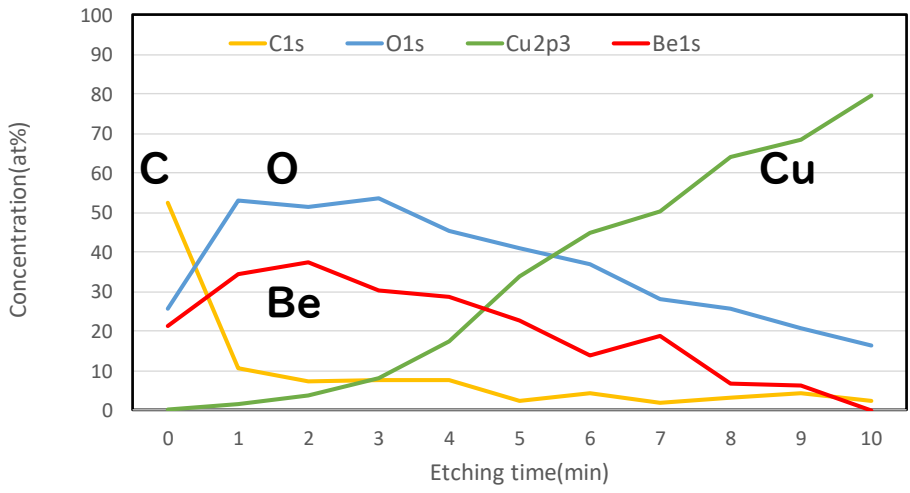
中央部



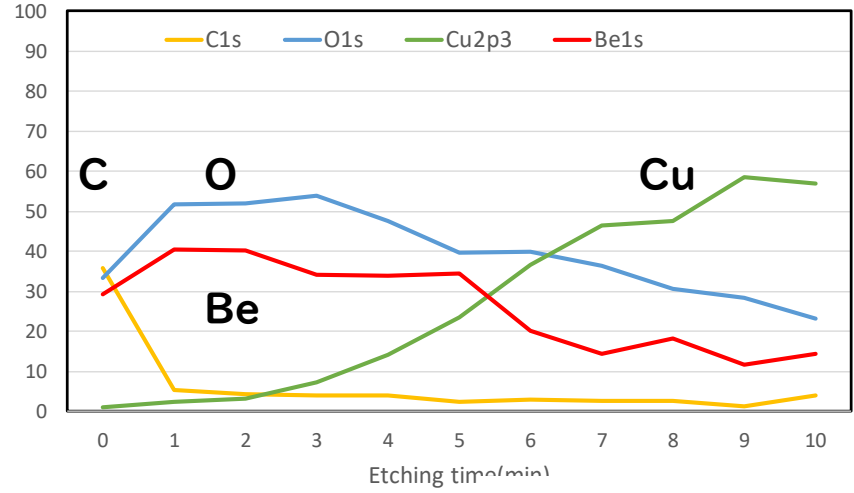
端部

ブローホールのない
良好な溶接を確認
(板厚:3mm)

XPS深さ方向分析:Be-Cu板



XPS深さ方向分析:Be-Cu溶接部

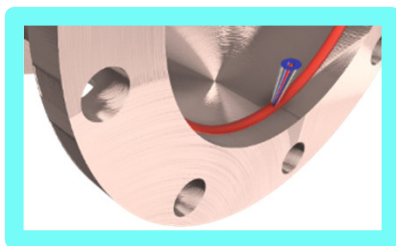
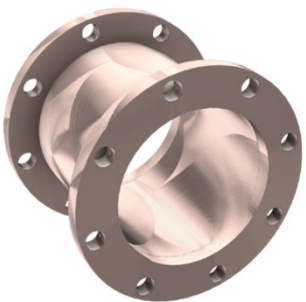


熱処理により表面にBeO析出を溶接後サンプルでも確認

実験 2 : Be-Cu短管/Be-Cuフランジ内溶接

サンプル/溶接条件 (最適化後)

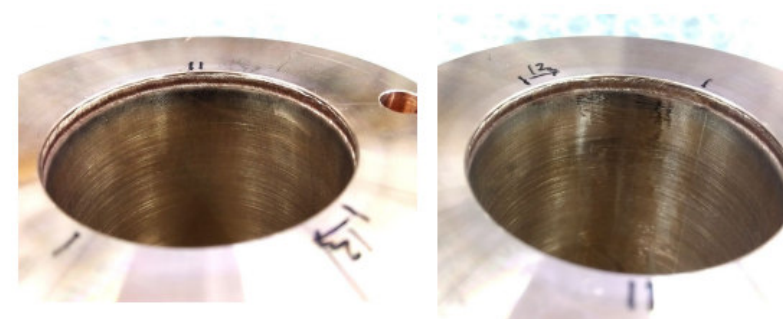
IR出力 : 2kW
青出力 : 0.95kW
照射速度 : 30mm/sec
溶接領域 : $450\mu\text{m} \times 450\mu\text{m}$
周波数 : 400Hz



溶接時動画



外観写真



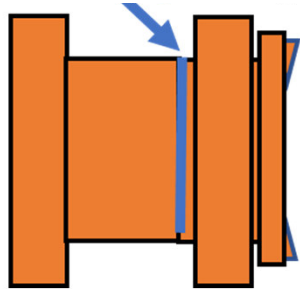
全面で良好な溶接を確認

0.6mm研磨・脱脂洗浄後



実験3 : Be-Cu首振り短管作製（切削加工では作製不可）

回転
溶接 フランジ



IR : 3kW, Blue : 1kW
400Hz、30mm/sec

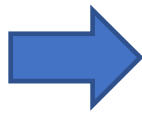
溶接手順

STEP1 : SUSボルト固定によるアライメント

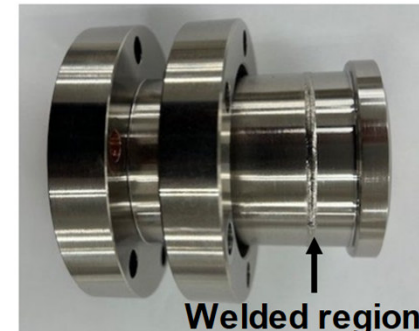
STEP2 : スポット溶接による仮止め、ボルトはずし

STEP3 : 回転機構に部材取付、回転しながら溶接

溶接部切削加工
Niメッキ



熱処理

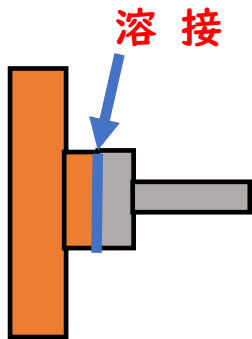


真空リークレート : $< 10^{-11} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{sec}$
⇒ 超高真空仕様

SUSパイプ/BeCuフランジ異種材料溶接

各種形状のBe-Cu材料溶接 ⇒ いろいろな知見を獲得、とくに熱マネジメント重要 ⇒ SUS/Be-Cu溶接

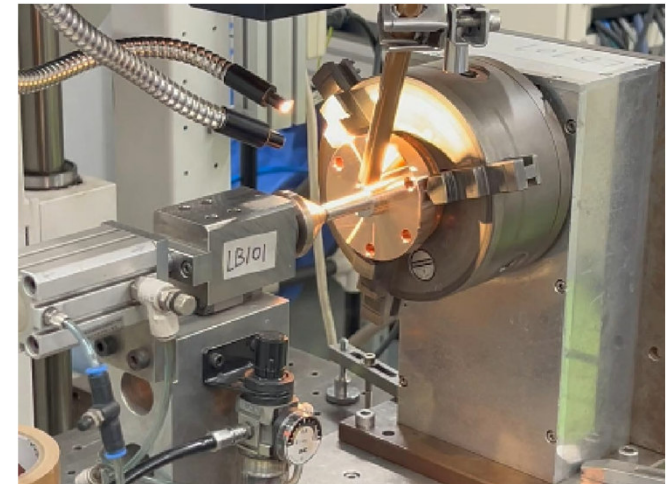
溶接手順



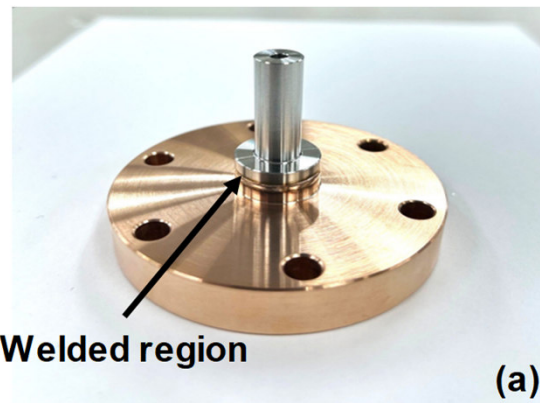
STEP1 : SUSボルト固定によるアライメント

STEP2 : スポット溶接による仮止め、ボルトはずし

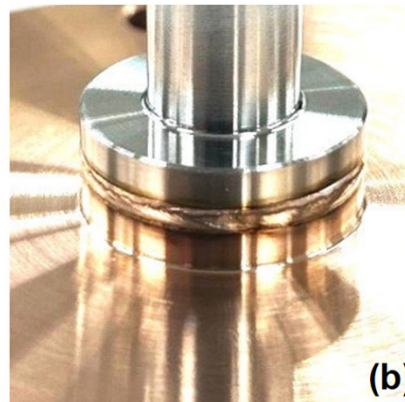
STEP3 : 回転機構に部材取付、回転しながら溶接



IR : 2.4kW, Blue : 1kW
400Hz、50mm/sec



(a)



(b)

溶接部切削加工
Niメッキ



熱処理

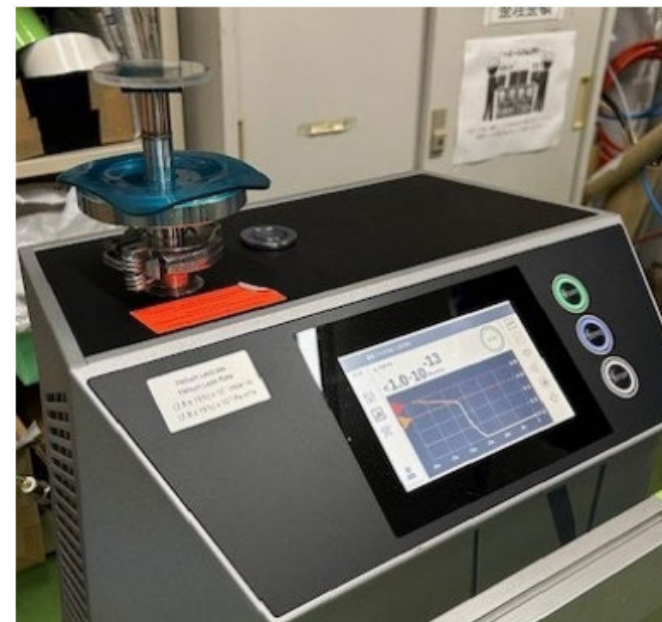


真空リークレート : $< 10^{-11} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{sec}$
⇒ 超高真空仕様

Be-Cu/SUS異種材料溶接条件出し



断面観察用サンプル



溶接後の真空リークチェック

外径: 18mm
内径: 12mm
SUS, Be-Cu長さ: 25mm
⇒ 外溶接 ⇒ 条件検討

Be-Cu/SUS異種材料溶接部材の引張試験

1回目：引張試験用鉄ピース
にネジ穴加工 (M8)
ネジでBe-Cと接続



Feテストピース破断

257MPa

2回目：引張試験用鉄ピース
に直接ネジ加工 (M10)
ネジでBe-Cと接続



Feテストピース破断

300MPa

3回目：M10SUSボルトと
Be-Cと接続

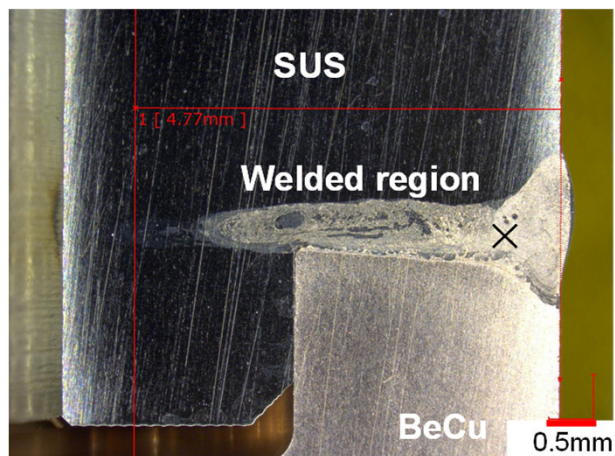


Feテストピース破断

359MPa

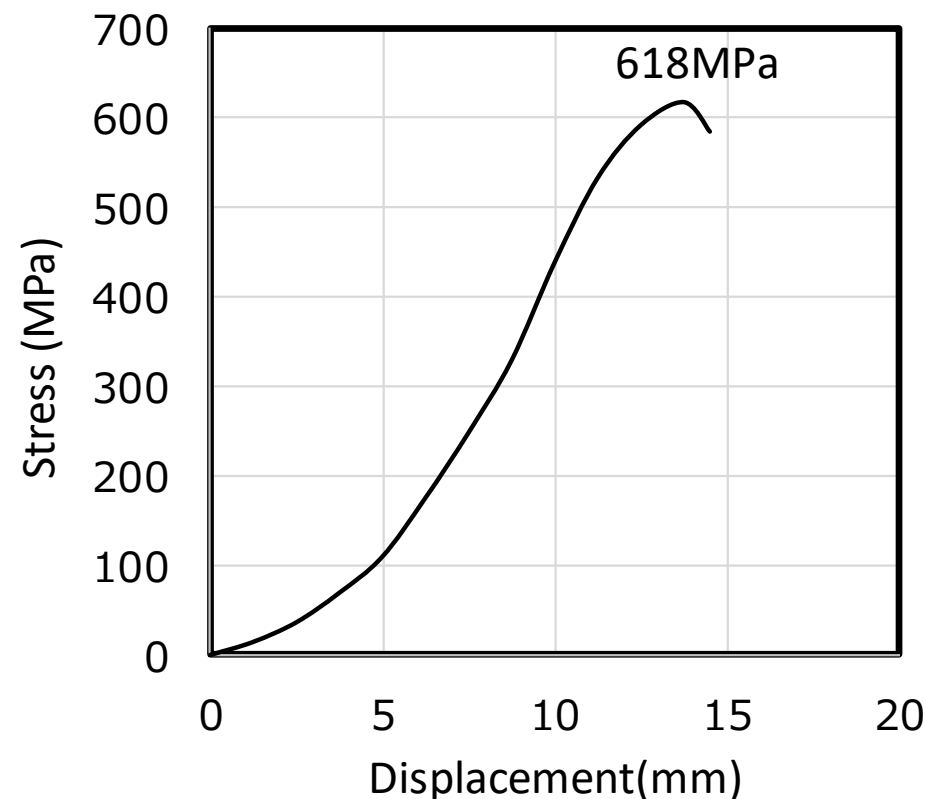
Be-Cu/SUS異種材料溶接部材の引張試験

Be-Cu/SUS溶接部断面観察



	BeCu	Cu	SUS
硬さ(HB)	237	112	140-180
熱膨張係数 ($\times 10^{-6}$)	17	17	17
引張強度 (MPa)	790	195-255	500-750
熱伝導率 (W/m・K)	210	401	16

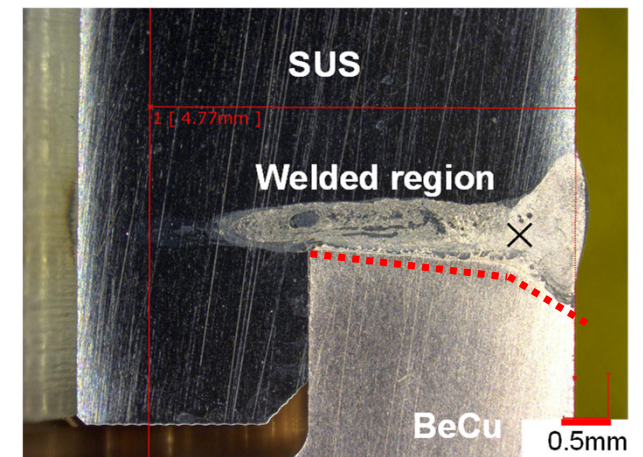
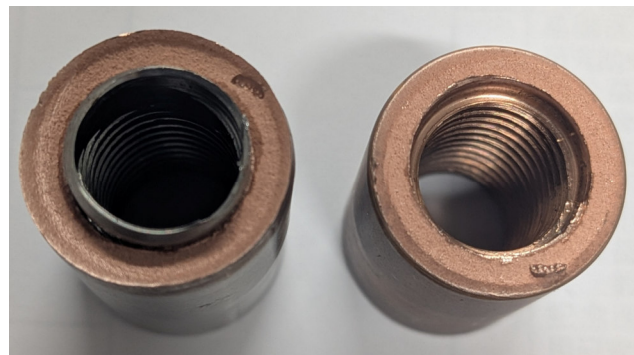
引張試験結果



Be-Cu/SUS異種材料溶接においてSUS同等の引張強度を確認、再現性高
c.f. Cu/BeCu 360MPa

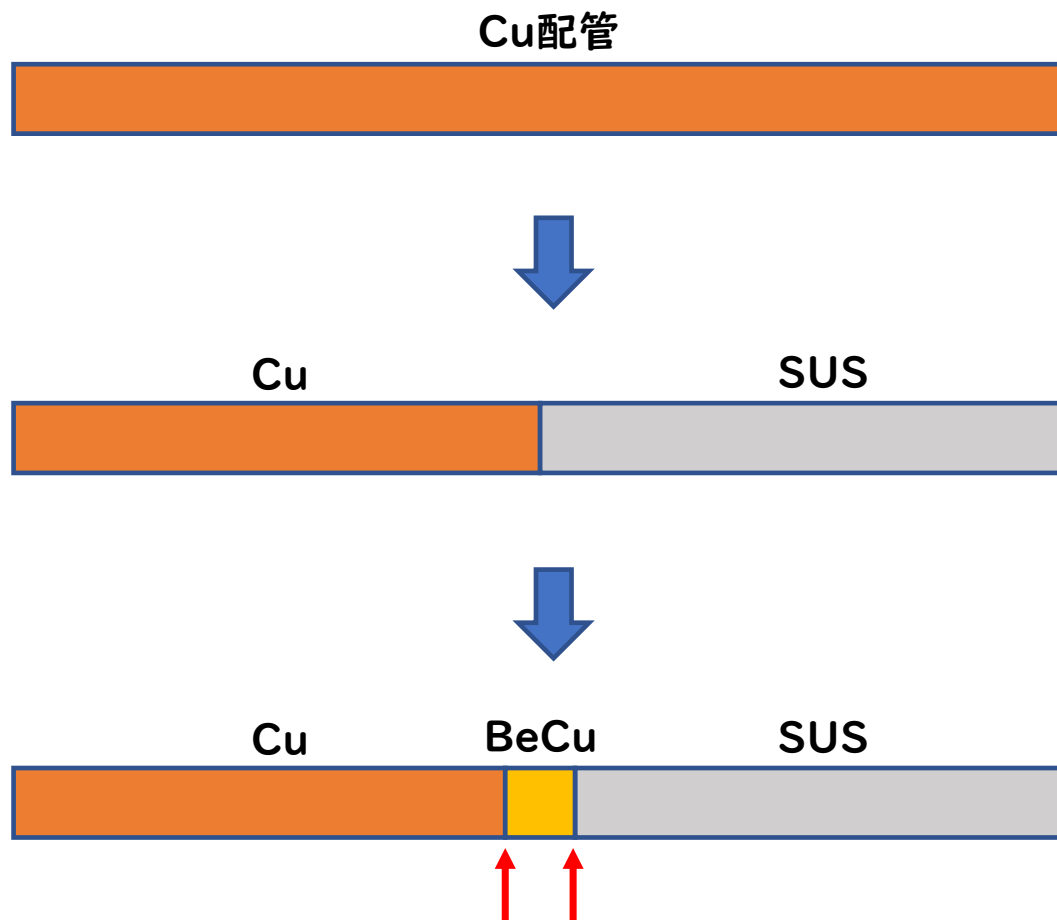
SUS/BeCu引張試験

破断部写真



破断面観察から一番強度が弱いのは溶接部ではなく、Be-Cu近傍の変成領域

まとめ：溶接技術によるCu材料の削減



✓ 高コスト

✓ SUS配管は低コスト

⇒ 溶接によりCuとSUS配管接続
しかしCuとSUSの溶接は難易度高

✓ アーク溶接、TIG溶接

⇒ 溶加材必要、信頼性低

✓ 電子ビーム溶接

⇒ 制御性難

引っ張り強度はCu以下

レーザ溶接可能、引張強度はCu同等、リーク無

✓ Cu配管とSUS配管の間に引張強度がSUS
同等のBeを含むBeCu配管をハイブリッドレー
ザで溶接可能

✓ 系全体での引張强度高

✓ 配管リークなし

✓ 高信頼性

配管でなくてもよい

Be含有量2wt%以下であれば、労働安全衛生法、特定化学物質等障害予防規則の規制対象外、EU規制もなし

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 接合体、接合体を形成する方法、
真空装置システム
- 出願番号 : 特願2025-162443
- 出願人 : 三重大学
- 発明者 : 中村 孝夫

お問い合わせ先

【本技術に関して】

株式会社三重ティーエルオー

e-mail mie-tlo@mie-tlo.co.jp

【三重大学の知財全般に関して】

三重大学

研究・社会連携統括本部

e-mail chizai-mip@crc.mie-u.ac.jp