

マルチプロパティデザインに基づく 金属材料のオンデマンド創製

大阪大学 大学院工学研究科

教授 宇都宮 裕

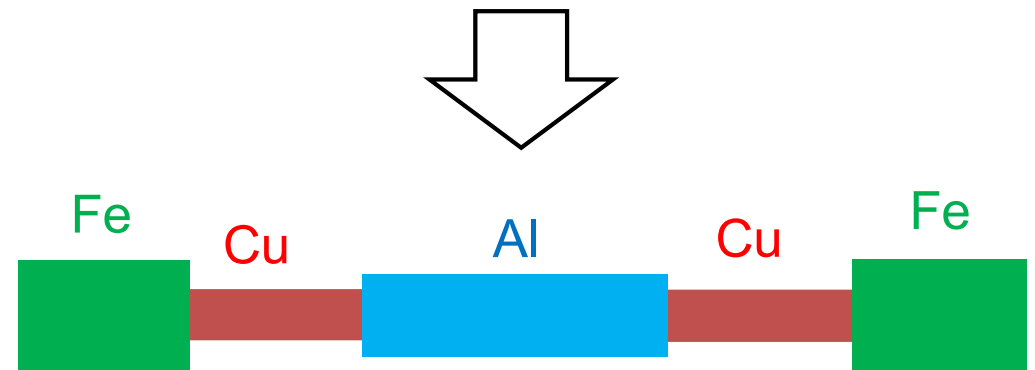
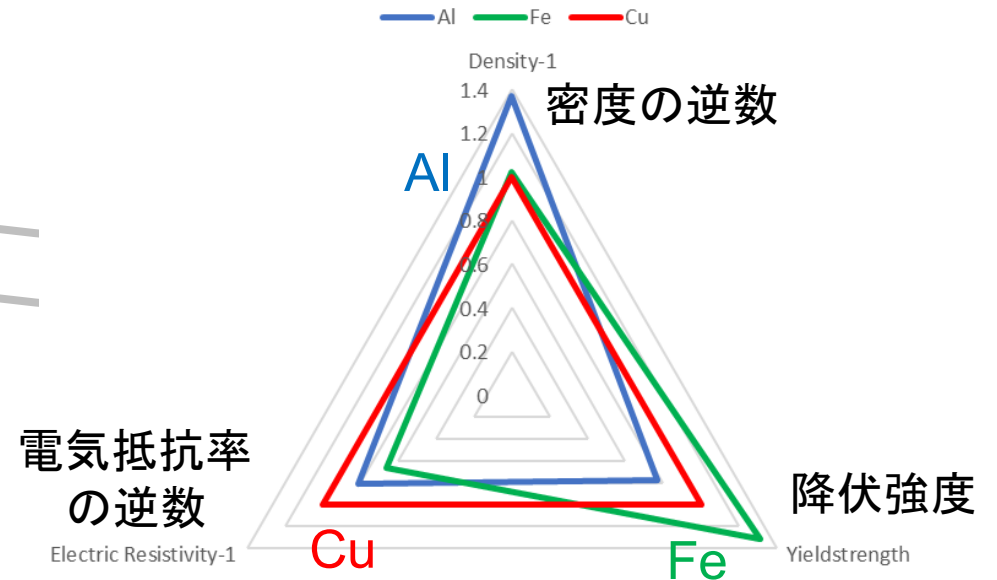
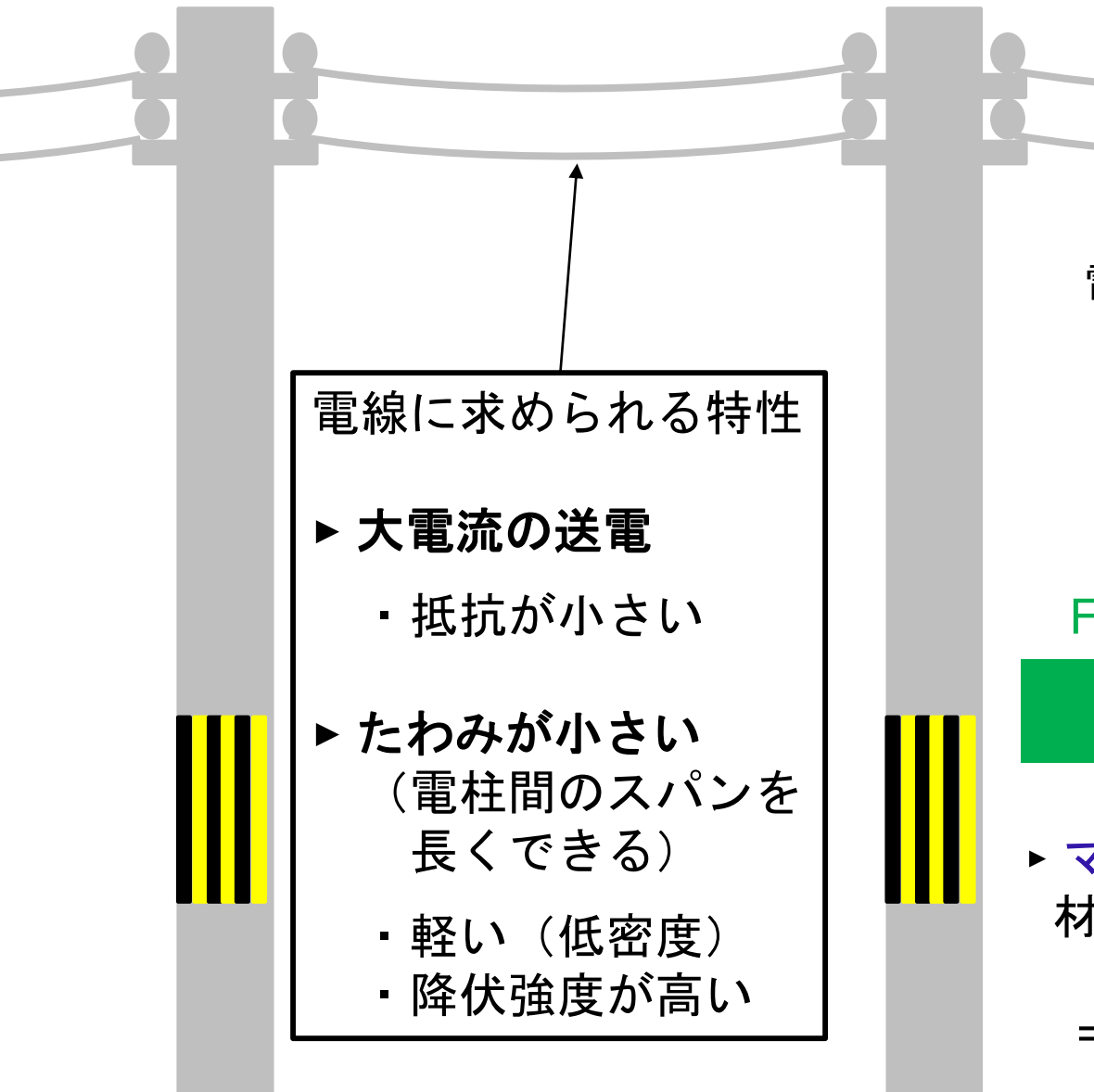
2022年2月3日

鉄鋼材料，銅合金，アルミニウム合金，CFRPなどを**適材適所に配置**することで，性能を向上させながら，コストを抑制する手法．特に自動車の軽量化に用いられる．



しかし，材料選択と配置の最適化(**トポロジー最適化**)法が必ずしも確立されておらず、単なる材料置換にとどまることが多いことは問題である。また，**異材接合技術**の開発も課題。

マルチマテリアルの検討事例：送電線



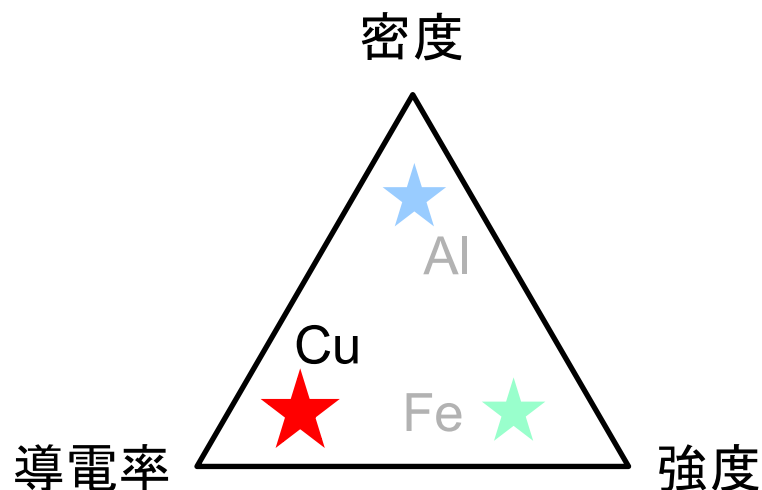
- ▶ マルチマテリアル構造を採用しても、材料種の選択・配置の最適化は難しい。

⇒ 材料選択を伴わない設計法が望ましい
マルチプロパティデザインへ

マルチマテリアルデザイン

材料特性表を元に，部材ごとに**材料選択**を行い，部材の形状・寸法を決定し，接合により配置する．⇒部材の設計変更が必要

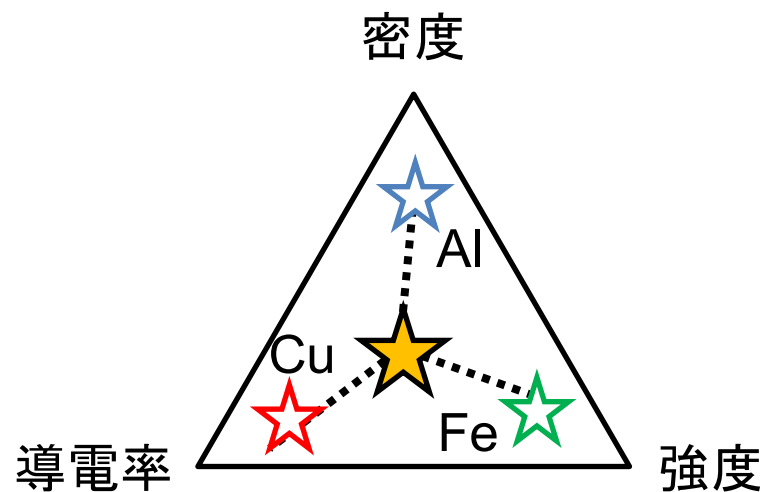
「材料ありき」の設計

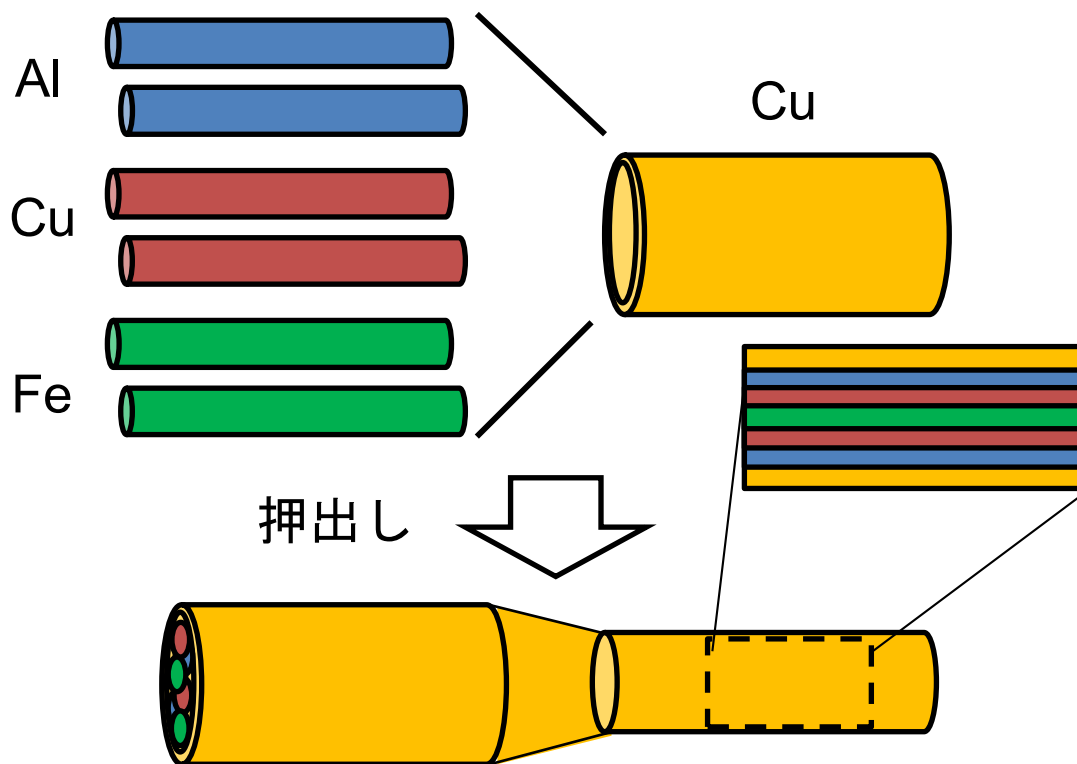


マルチプロパティデザイン

部材の形状・寸法を決定後，その部材に要求される**複数の特性を設定**し，その特性を満足する複合材料部材を製造する．

「特性ありき」の設計





多芯押し出しの模式図¹⁾

1) 宇都宮ほか: 金属棒線材の製造方法, 特願2021-166711.

- 利点
- ▶ **加工度**(押し出し比)が大きい
省プロセス, 高接合強度
 - ▶ 用いる**材料種の数**
＞要求される特性の数
 - ▶ 芯材の形状・寸法を統一し
多くの材料種を用意すれば
配置の変化で多様な材料を
オンデマンドで製造可能
 - ▶ 空隙(気孔)も利用可
中空材, 多穴管, ポーラス材

- 課題
- ▶ **加工限界**がある
軟芯材構成, 界面すべり抑制
などの方策が破断抑制に有効
 - ▶ **特性予測手法**の確立が必要
複合則, 機械学習など
 - ▶ 材料種**配置方法**は要検討

実施例

シース材としてCu, 芯材としてAl, Cu, Feを用いて, 軸対称に近いいくつかの配置で押し出しを行い, **密度**(アルキメデス法), **降伏強度**(圧縮試験), **電気伝導度**(四端子法)を測定し, **複合則**による予測値と比較することで, 実現性を検討する。

製品の設計

部材の寸法・特性の指定

- ・ 押し出し条件の決定
 - ▶ 中間素材の外径寸法の選定
 - ▶ 押し出し機, 押し出し比、速度、潤滑、ダイス角など加工条件の設定
- ・ 中間素材の構成の決定
 - ▶ 管材の内径の選定
 - ▶ 芯材の線径と挿入本数の選定
 - ▶ 管材と芯材の材料種の選定
 - ▶ 芯材の配置の決定

製造可否の判定

- ▶ 予測される特性が要求を満足？
- ▶ 破断なく均一変形可能？

不可

可

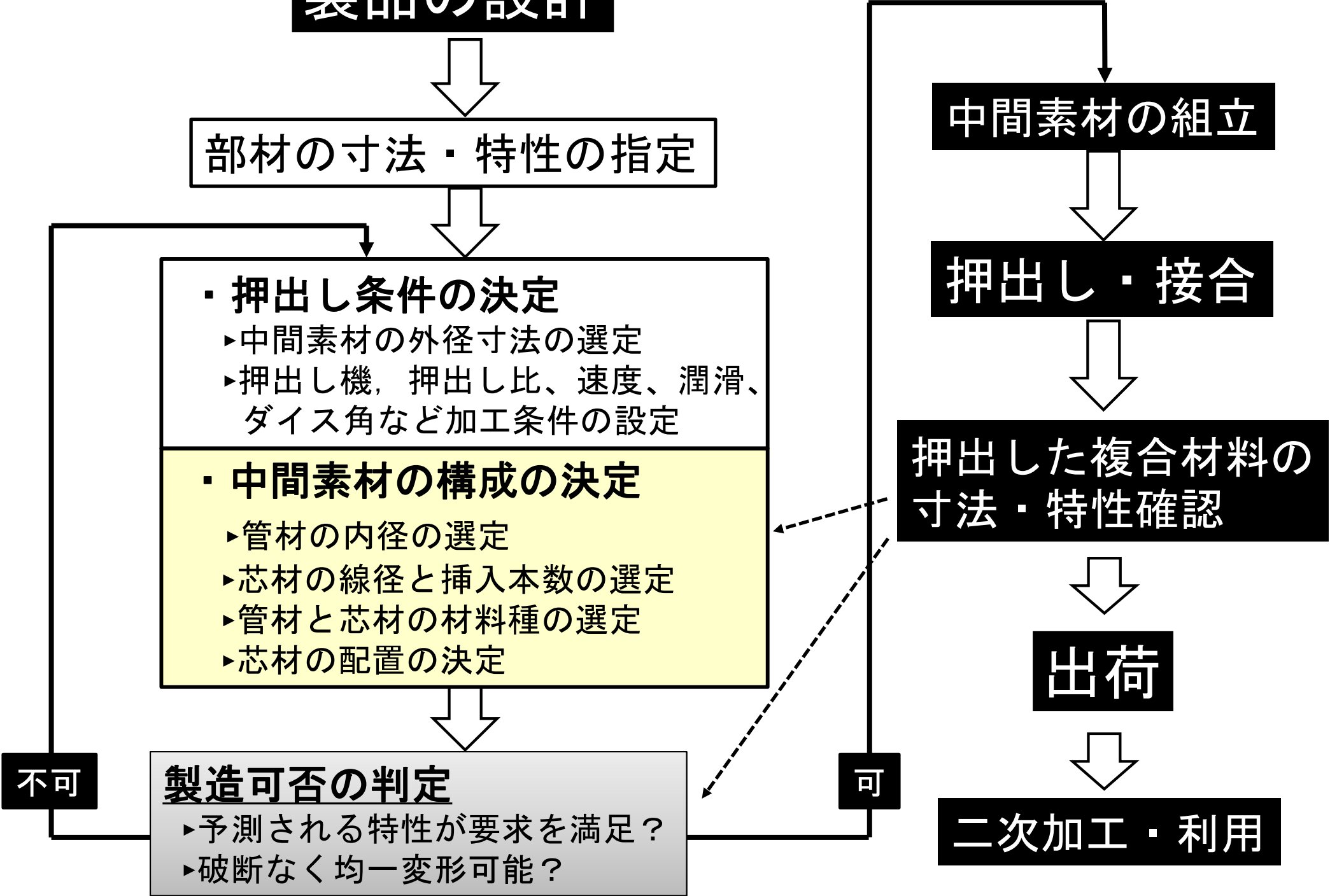
中間素材の組立

押し出し・接合

押し出した複合材料の寸法・特性確認

出荷

二次加工・利用

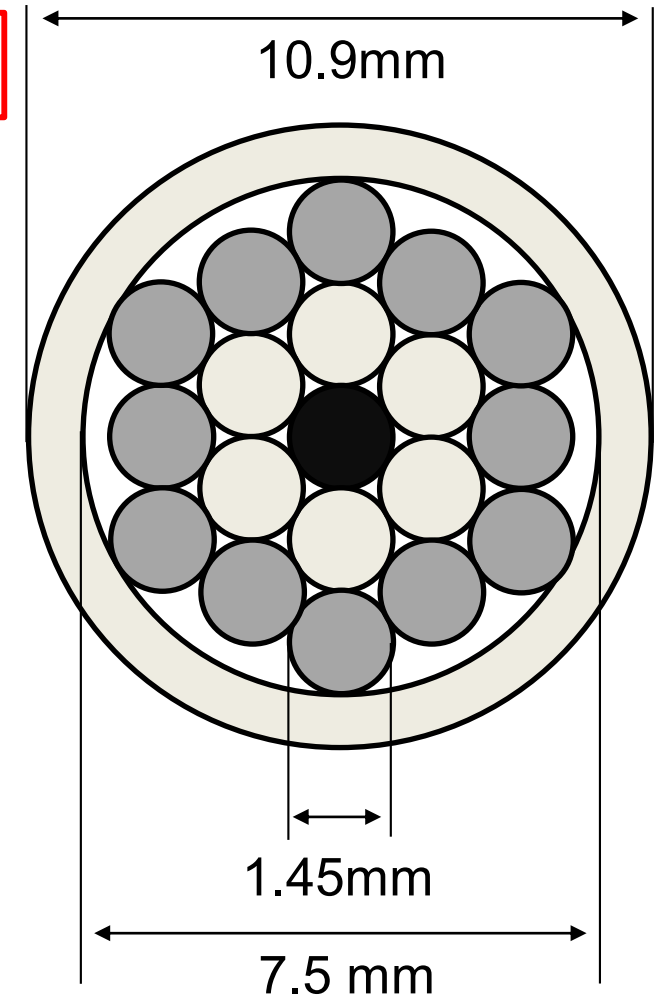


使用材料とビレットの構成

使用材料：C1020, A1070, 純鉄(99.65%)

(単一コア材からの推定値)	Cu	Fe	Al
密度 / $\text{Mg}\cdot\text{m}^{-3}$	8.57	8.19	3.70
電気抵抗率 / $\text{n}\Omega\text{m}$	18.9	28.6	23.3
降伏強度 / MPa	360	596	186

シース材内径, d_c	7.5mm
芯材径, d_f	1.45mm
コア部分の深さ, h	30mm
ビレット寸法	$\phi 10.9 \times 35\text{mm}$



今回の実験
の配置条件

- ▶ 「第1層：1本」, 「第2層：6本」, 「第3層：12本」
- ▶ 第1層, 第2層, 第3層と同心円状に配置
- ▶ 各層に異なる材料
- ▶ シース材は銅(Cu)で固定

押し出し方法と条件



(b) ダイス径7mm
Fig. 使用ダイス径

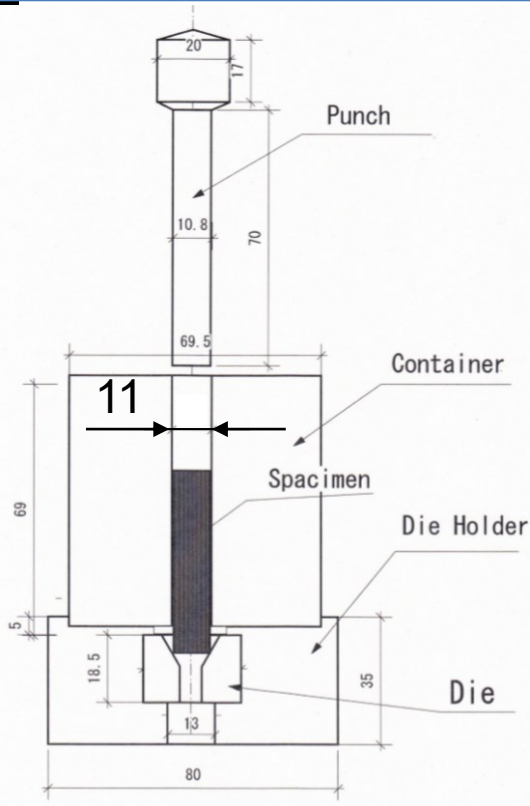


Fig.押し出し治具寸法

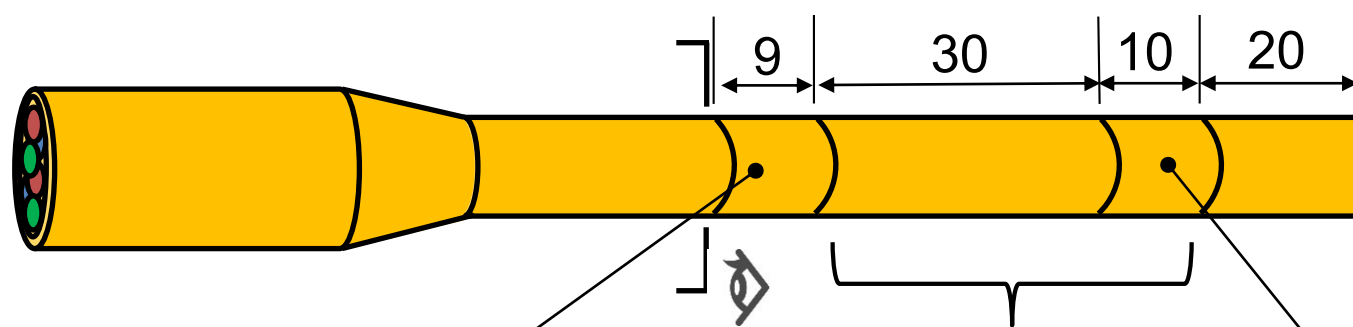


Fig.押し出し治具



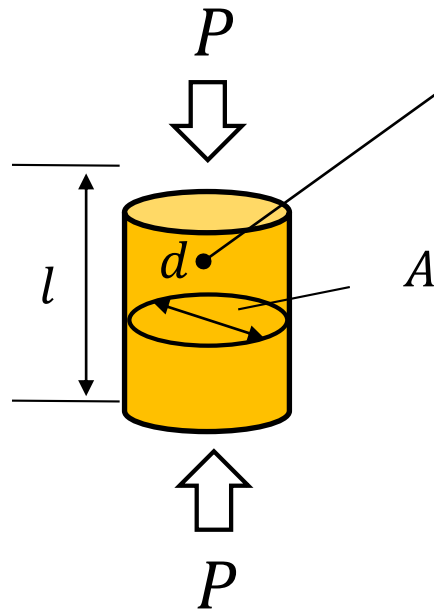
ダイス径, D	$\Phi 6\text{mm}$
(押し出し比)	(3.30)
ダイス半角	60°
押し出し速度	3mm/min
潤滑	ステアリン酸リチウム粉

押し出し後の特性の評価方法



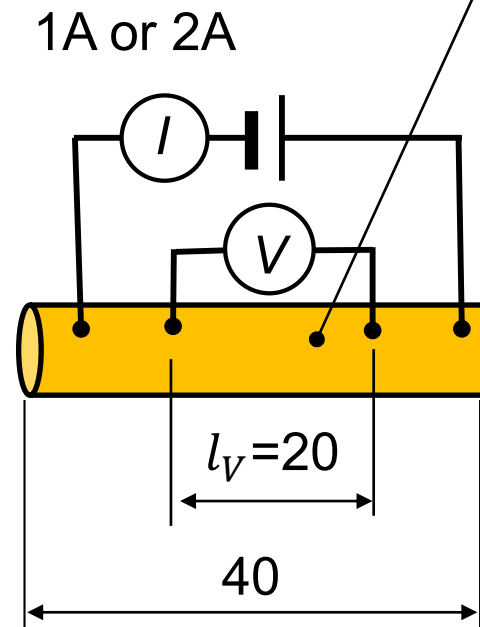
Leading end

Section



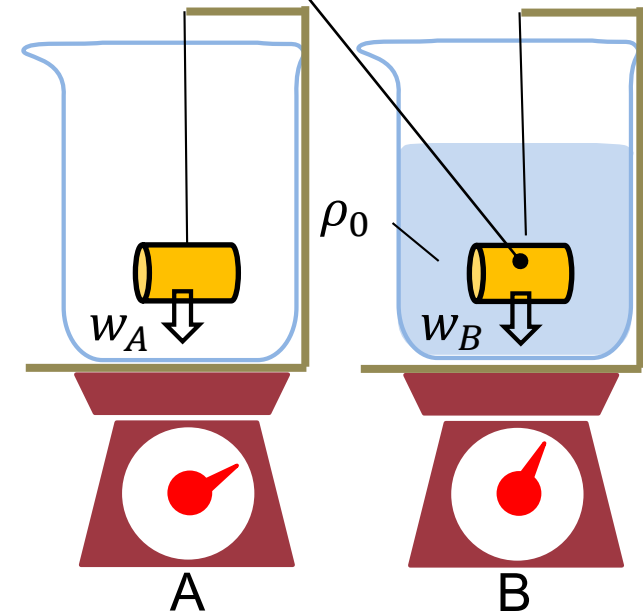
$$\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0} \quad \sigma = \frac{P}{A}$$

Compression test



$$\kappa = V \cdot \frac{A}{l_V}$$

Four-probe method




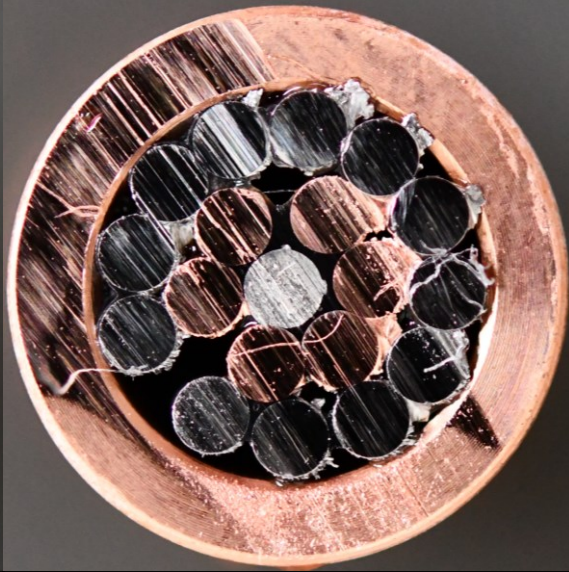

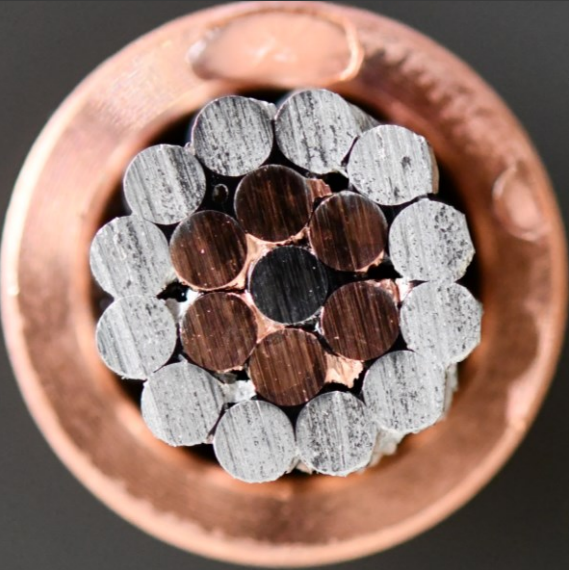


$$\rho = \rho_0 \cdot \frac{W_A}{W_A - W_B}$$

ρ_0 : water density


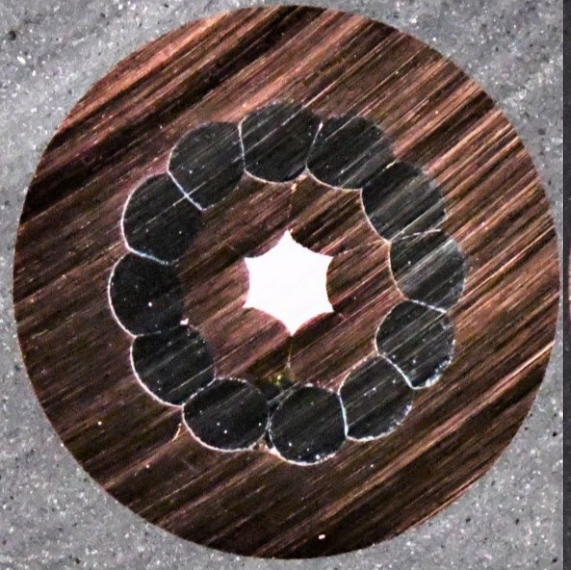
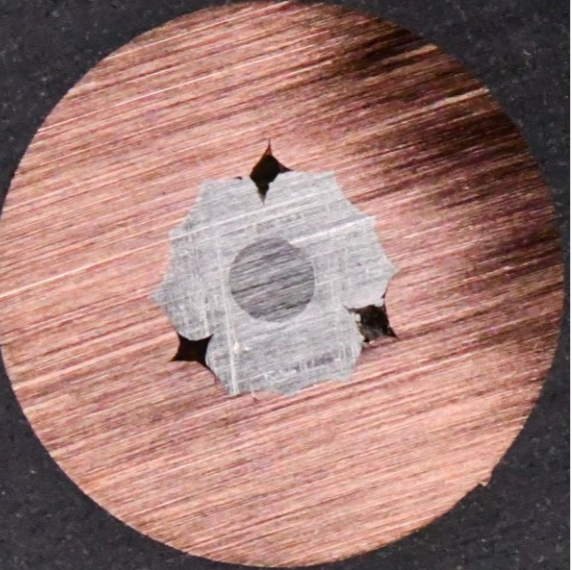
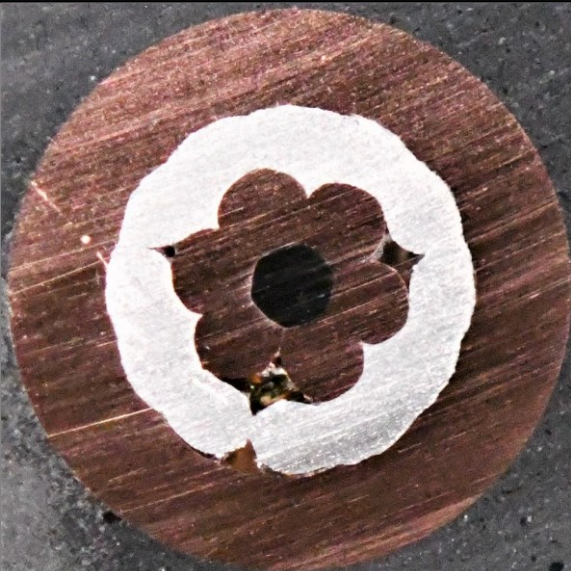
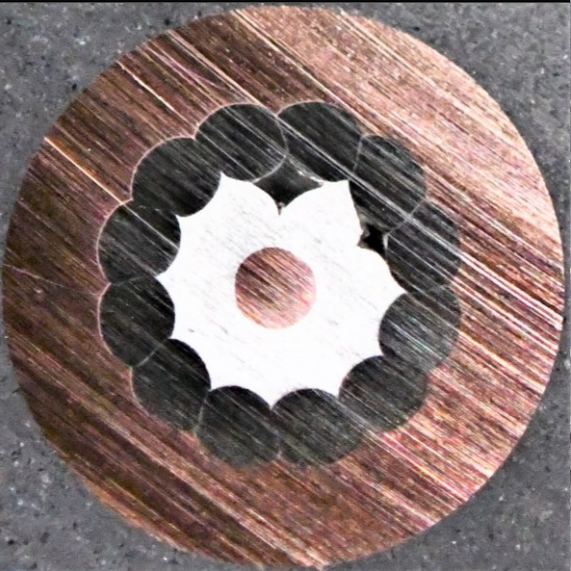

Archimedes method

押出し前のビレット断面における芯材配置

配置：第1層 Al, 第2層 Fe, 第3層 Cu, シース: Cu

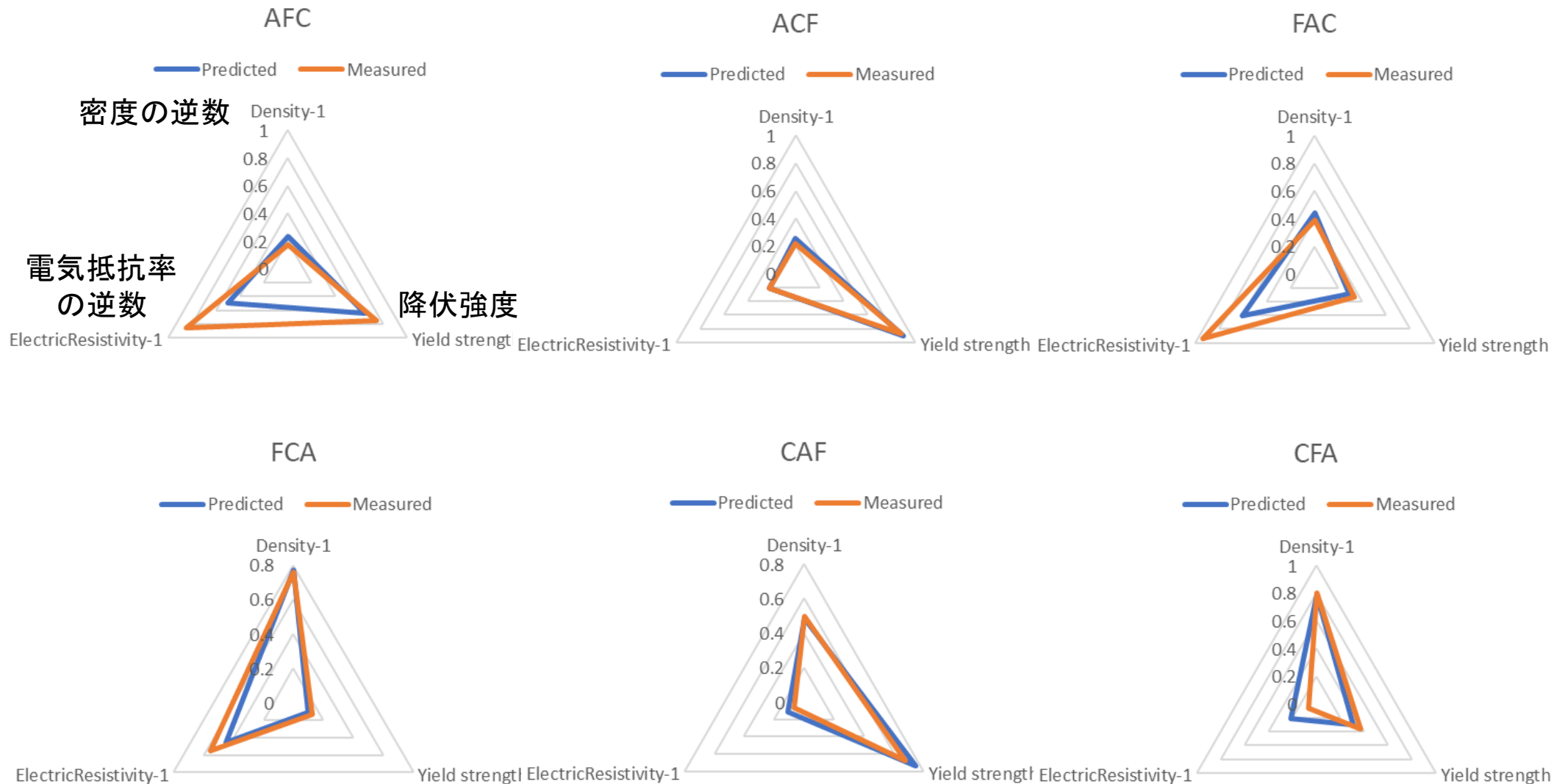
	AFC	ACF	FAC
$D=6.0\text{mm}$			
	FCA	CAF	CFA
$D=6.0\text{mm}$			

押出し後の横断面写真

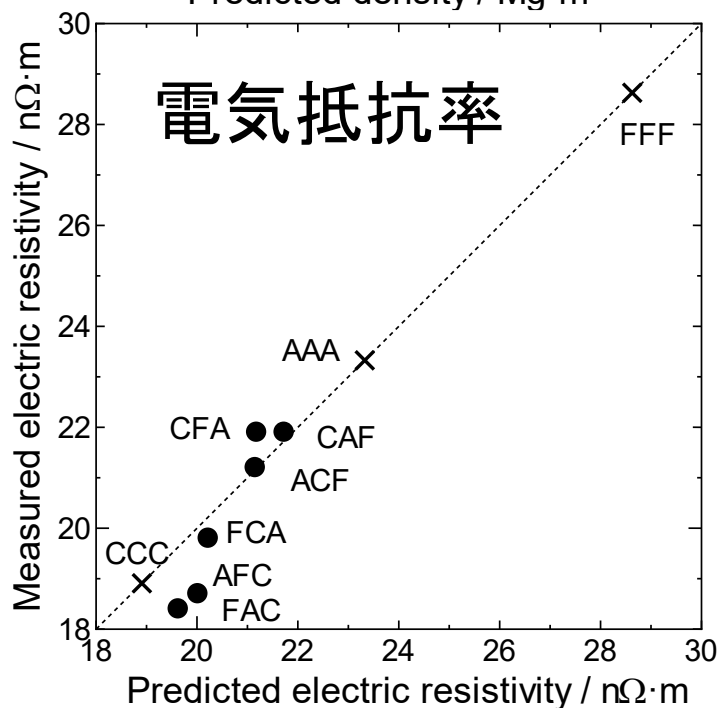
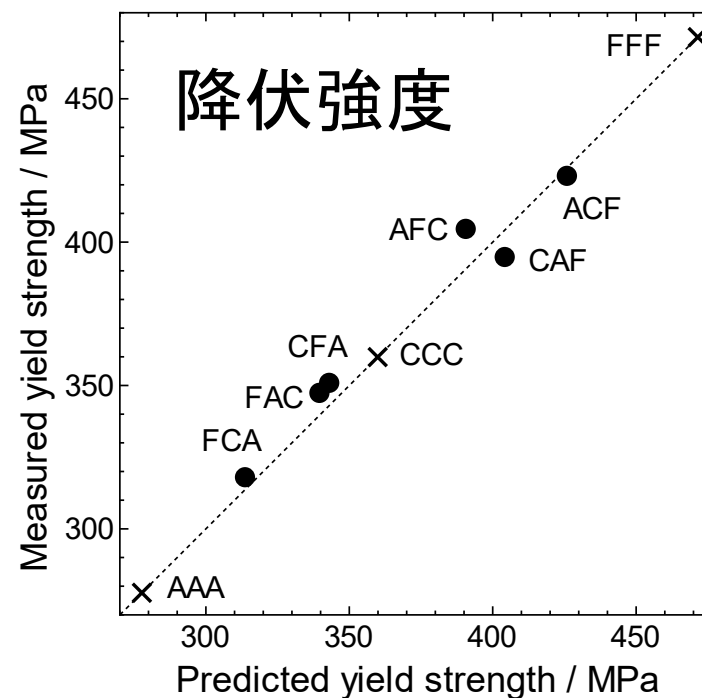
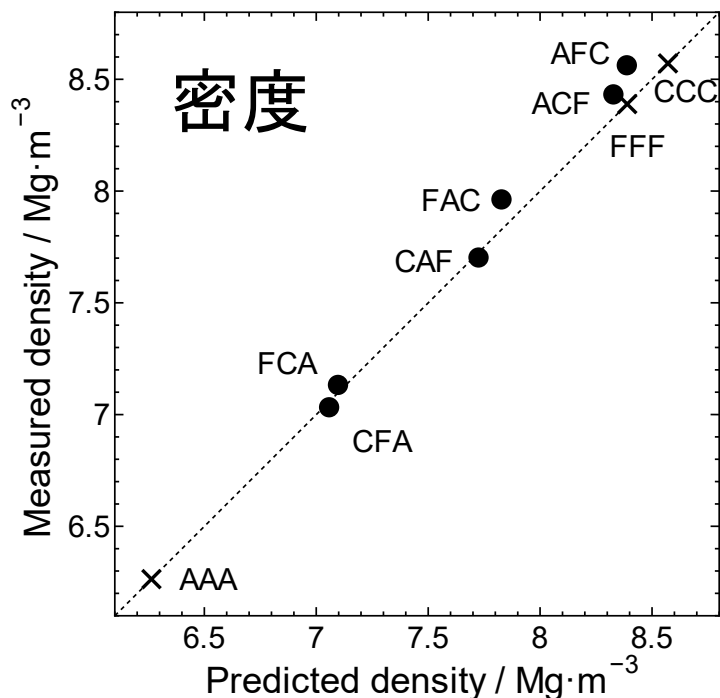
	AFC	ACF	FAC
$D=$ 6.0mm			
	FCA	CAF	CFA
$D=$ 6.0mm			

押出し材の特性の実測値と予測値

密度，降伏強度，電気伝導度の測定値と，それぞれの複合則による予測値のレーダーチャート(銅の特性を1として規格化)



3 特性の実測値と予測値の比較



芯材を単一材料種で構成した場合 (CCC, FFF, AAA)の測定値から、単体の特性を逆算で決定し、その特性値を用いて複合則で予測

実測値と予測値の相関係数：

- ▶ 密度：0.996
- ▶ 降伏強度：0.983
- ▶ 電気抵抗率：0.967

まとめ

複数の材料特性が指定された材料を設計・創製する（マルチプロパティデザイン）方法を提案し，それを実現する手法として，多芯材の冷間押出しについて検討した。

- ▶ 銅，鉄，アルミニウムを芯材，銅をシース材として9種類の配置でビレットを構成し，冷間押出しを行ったところ，断面形状が押出し方向に一様な複合棒材が得られた。
- ▶ 押出し材で実測した3つの特性（密度，降伏強度，電気抵抗率）は，複合則による予測値とほぼ等しいことを確認した。

以上のことから，**指定された複数の特性を同時に満足する部材のオンデマンド創製**は，多芯材の冷間押出しによって，**実現可能**と考えられる。

従来技術とその問題点

現在行われている部材の設計法は、マルチマテリアルデザインを含め、

- **便覧値**を参照した材料選択が行われるため最適化が不十分.
- **複数性能**の満足が困難
- 部材の形状設計に試行錯誤が多く、リードタイムが長い.

等の問題がある。

新技術の特徴・従来技術との比較

- 従来技術における**材料選択のプロセス**を排除することが特徴
- 新技術では**複数特性**が同時に満足できる。
- 部材の形状設計の試行錯誤回数が減るため、**リードタイムが短縮**される。

想定される用途

- 提案したマルチプロパティデザインの応用範囲は極めて広い。
- 今回紹介した多芯押出し法は、材料のワンオフあるいは多品種少量生産に合致するので、まずは製品の試作や、プロトタイプなどの製造における応用が考えられる。
- 高価な希少材料を用いる場合は、その使用量を削減できる。複合効果がある場合、特に有効。
- 材料特性の変化（加工硬化や時効）を活用可能。

実用化に向けた課題

- 特性を指定するためには、**線形計画法に基づくCAE解析**が期待される。
- 特性予測の精度向上は**機械学習**の適用が期待される。
- 製造可否の判定のために**加工限界・製造限界**の解明は重要。
- 配置の最適化には、**トポロジー最適化技術**の確立が期待される。

企業への期待

- マルチプロパティデザインは、塑性加工によらず**接合・接着などの複合化プロセス**でも実現可能.
- マルチプロパティデザインは、材料の複合化によらず**単一材料でも実現可能**.
例えば、加工あるいは熱処理条件の制御による強度と延性のバランスなど.
- プロパティデザインには、材料物性のみならず、材料単価、加工賃、納期などを含め拡大して解釈するとよい.
- マルチプロパティデザインを活用するには**業界の垣根を超えたアプローチ**が有効.

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 複合金属材料および
その製造方法
- 出願番号 : 特願 2021-16671
- 出願人 : 大阪大学
- 発明者 : 宇都宮裕、谷口大將、
宮本文二、松本良

産学連携の経歴

- 国内の主要材料メーカーのほとんどと共同研究を実施
- 重工業・自動車・電機メーカーとも共同研究を実施.
- 複数企業の技術アドバイザーを歴任
- 多数の社会人ドクターを養成
- 物材機構(NIMS), 鉄道総研などの研究所とも共同研究
- 海外メーカや海外大学とも共同研究を実施
- 2020年より, 大阪大学科学機器リノベーション. 工作支援センターのセンター長を兼任

お問い合わせ先

大阪大学

共創機構 イノベーション戦略部門 知的財産室

<TEL> 06-6879-4861

<e-mail> tenjikai@uic.osaka-u.ac.jp