

## ナノテク・部材イノベーションプログラム

## 「高機能複合化金属ガラスを用いた革新的部材技術開発」

研究開発成果について  
(中間評価)(公開)共通基盤技術 研究開発項目③  
複合化金属ガラスによる  
高強度・高導電性部材技術

## 説明内容

## 高強度・高導電性部材技術の研究開発

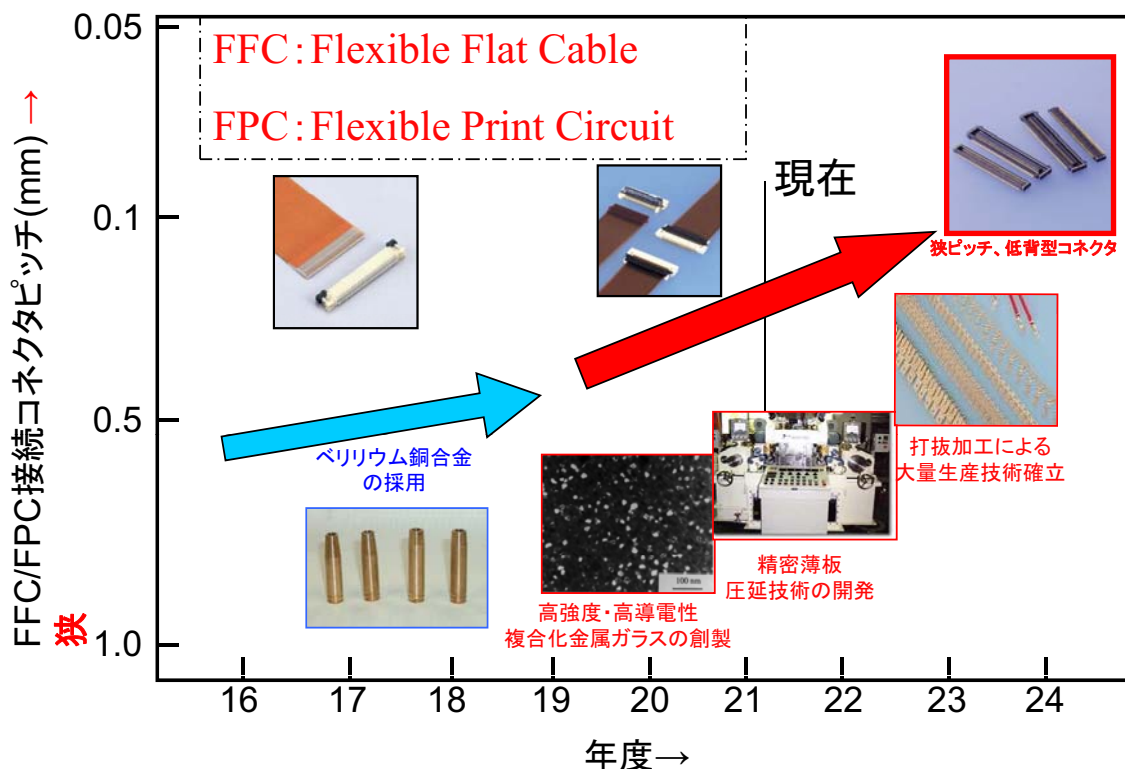
1. 研究開発背景
2. 目標値および開発体制
3. 研究開発成果
  - 研究開発項目③-1 高強度・高導電性複合化金属ガラスの合金創製
  - 研究開発項目③-2 精密薄板作製技術の開発
4. まとめと今後の課題
5. 実用化の見通し(公開部分)

## 高強度・高導電性部材技術の研究開発

1. 研究開発背景
2. 目標値および開発体制
3. 研究開発成果
  - 研究開発項目③-1 高強度・高導電性複合化金属ガラスの合金創製
  - 研究開発項目③-2 精密薄板作製技術の開発
4. まとめと今後の課題
5. 実用化の見通し(公開部分)

## 1. 研究開発背景

### FFC/FPC接続コネクタの狭ピッチ化のロードマップ



# 1. 研究開発背景

事業原簿 p. III-135

資料 6-1-3

## 電気接点部材の現状

- ・コネクタ用電気接点部材は、急速に**ファインピッチ化**が進んでいる
- ・現状、**Cu-Be合金**が使用されているが、さらなる高強度・高導電率が必要とされている
- ・引張強さ**1200 MPa**、導電率**30~40 %IACS**で靱性を備えた材料を開発できれば、実用化の可能性は非常に大きい



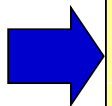
日本圧着端子製造㈱資料

|         | 引張強さ(MPa) | 導電率(%IACS*) | 伸び(%) | 備考           |
|---------|-----------|-------------|-------|--------------|
| Cu-Be合金 | 1110      | 25          | 6     | Cu-Be25合金 N社 |
| コルソン合金  | 735       | 40          | 8     | CAS85合金 K社   |
| リン青銅    | 440       | 35          | 8     | KLF-5合金 K社   |

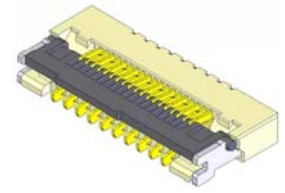
従来材料では限界

\*国際標準焼きなまし鋼(IACS)の導電性を100%とした時の導電性の比を百分率表示

## 本開発テーマの目的



金属ガラスと高導電性材料の複合化により、高強度・高導電率を兼ね備えた、Cu-Be合金に代わる次世代超小型コネクタ用電気接点部材を開発する



狭ピッチカードコネクタ

# 説明内容

資料 6-1-3

## 高強度・高導電性部材技術の研究開発

### 1. 研究開発背景

### 2. 目標値および開発体制

### 3. 研究開発成果

研究開発項目③-1 高強度・高導電性複合化金属ガラスの合金創製

研究開発項目③-2 精密薄板作製技術の開発

### 4. まとめと今後の課題

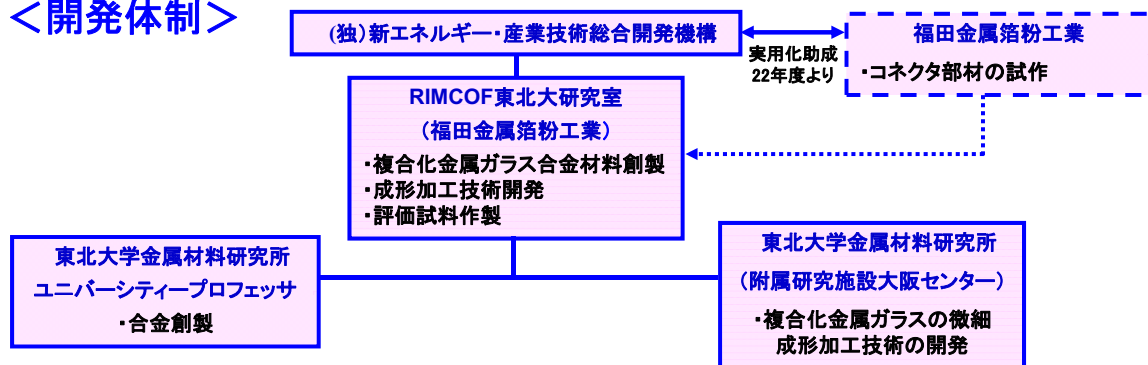
### 5. 実用化の見通し(公開部分)

## 2. 目標値および開発体制

### <目標値>

| 区分                | 開発項目                   | 中間目標                          | 最終目標                          |
|-------------------|------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 共通基盤技術            | 合金創製と複合化<br>(複合化金属ガラス) | 引張強さ1200 MPa以上<br>導電率30 %IACS | 引張強さ1500 MPa以上<br>導電率60 %IACS |
|                   | 精密薄板作製技術               | 板厚0.1 mm程度<br>板幅10 mm以上       | 板厚0.05 mm程度<br>板幅50 mm以上      |
| 実用化研究<br>平成22年度以降 | コネクタの試作                | —                             | コネクタピッチもしくは高さ<br>1/2以下        |

### <開発体制>



## 説明内容

### 高強度・高導電性部材技術の研究開発

1. 研究開発背景
2. 目標値および開発体制
3. 研究開発成果
  - 研究開発項目③-1 高強度・高導電性複合化金属ガラスの合金創製
  - 研究開発項目③-2 精密薄板作製技術の開発
4. まとめと今後の課題
5. 実用化の見通し(公開部分)

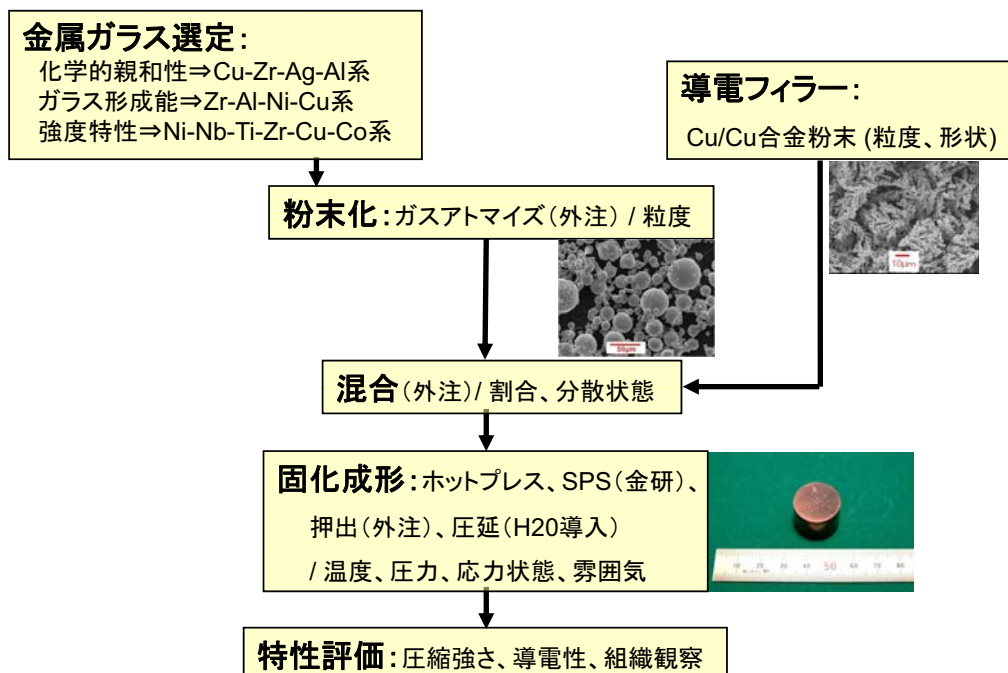
## 研究開発項目③-1

## 高強度・高導電性複合化金属ガラスの合金創製

1. 想定される部材創製プロセス
2. ホットプレス法による複合化と評価
3. 押出法による複合化と評価
  - 3-1. 丸断面押出材の作製と評価
  - 3-2. 矩形断面押出材の作製と評価
4. 粉末予備固化成形装置の導入
5. 成果のまとめと目標達成状況

## 想定される部材創製プロセス

## &lt;粉末固化成形法&gt;



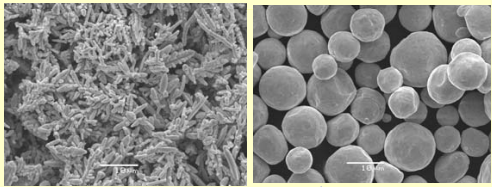
# 3. 研究開発成果

## ホットプレスによる複合化と特性評価

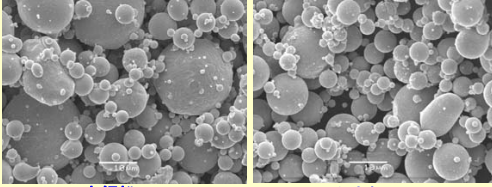
資料 6-1-3

使用原料

### 導電フィラー

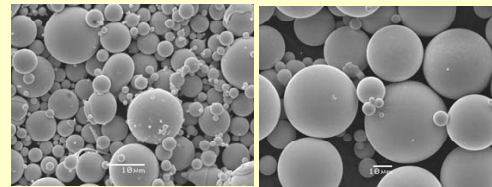


電解銅粉Cu(EC)  $d_{50}=16 \mu\text{m}$  アトマイズ銅粉Cu(AT)  $d_{50}=12 \mu\text{m}$



リン青銅粉  $d_{50}=15 \mu\text{m}$  コルソン合金粉  $d_{50}=14 \mu\text{m}$

### 金属ガラス粉末



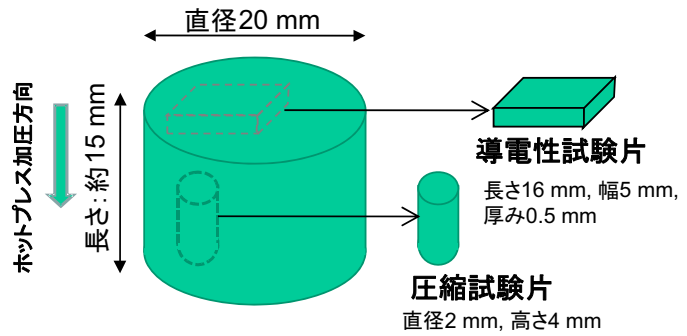
Cu基金属ガラス粉  $d_{50}=18 \mu\text{m}$  Ni基金属ガラス粉  $d_{50}=37 \mu\text{m}$



ホットプレス装置外観(東北大金研)

### HP条件

- ・プレス圧: 780 MPa
- ・昇温速度: 20°C/min.
- ・プレス温度:  $T_g$ 近傍
- ・プレス時間: 300 s



ホットプレスによる複合化金属ガラス試料の形状

# 3. 研究開発成果

## ホットプレス条件の設定 Cu金属ガラスの粘性係数と結晶化

資料 6-1-3

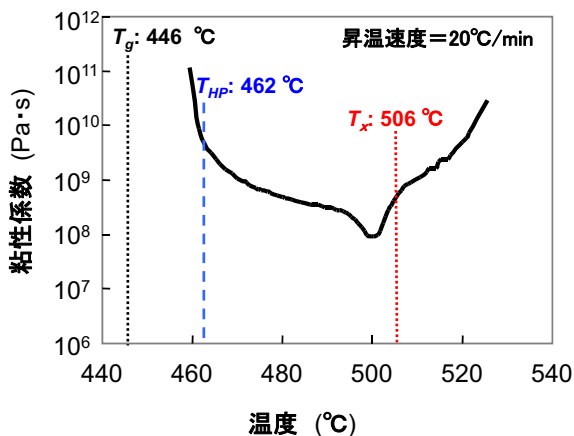


図 Cu-MGの粘性係数の温度依存性

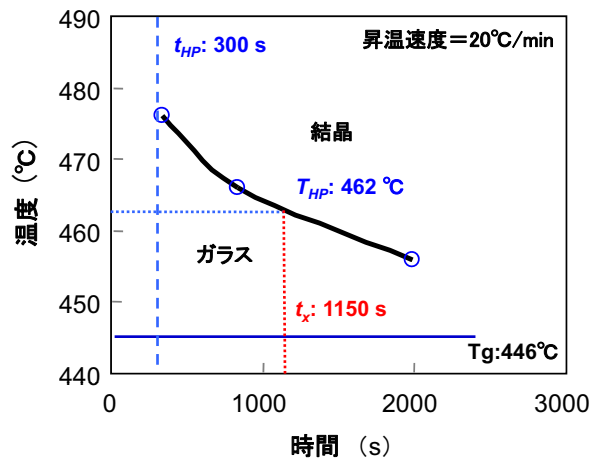


図 Cu-MG組成の結晶化TTT図

所定温度到達後5分(300s)で結晶化せず、十分な粘性低下も確認

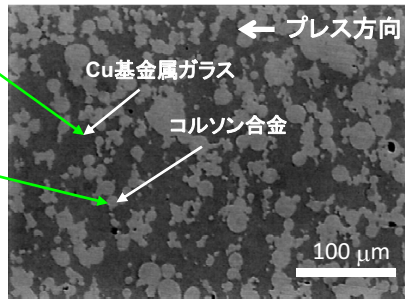
→HP温度: 462°Cに設定

# 3. 研究開発成果

## ホットプレスによる複合材の断面組織

Cu基金属ガラス粉末はネットワーク化

Cu合金粉末が孤立化

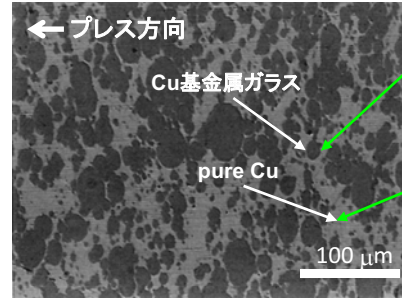


Cu-MG + 50 wt%コルソン

|      | 実験値      | 複合則計算値    |
|------|----------|-----------|
| 圧縮強さ | 1207 MPa | 1331 MPa  |
| 導電率  | 8 % IACS | 22 % IACS |

Cu基金属ガラス粉末が孤立化

純Cu粉末はネットワーク化



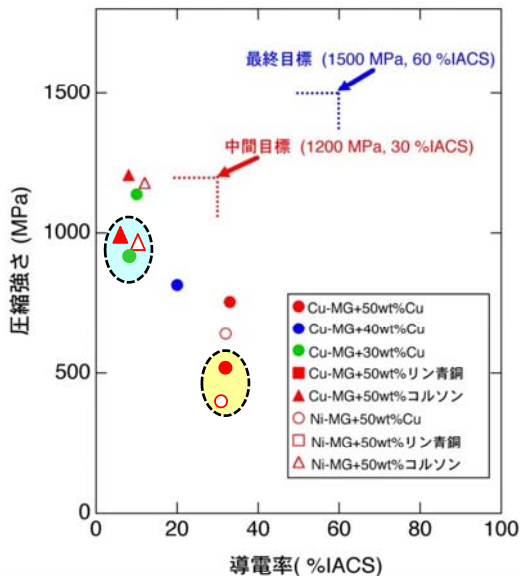
Cu-MG + 50 wt%純Cu(EC)

|      | 実験値       | 複合則計算値    |
|------|-----------|-----------|
| 圧縮強さ | 756 MPa   | 1050 MPa  |
| 導電率  | 33 % IACS | 53 % IACS |

・金属ガラス相のネットワーク構造形成により強度が、銅および銅合金相のネットワーク構造形成により導電率がそれぞれ所望の特性を有することが判明した。

# 3. 研究開発成果

## ホットプレス固化成形材の圧縮破断強さと導電率



| 複合材構成                   | 導電率 (%IACS) | 圧縮強さ (MPa) |
|-------------------------|-------------|------------|
| Cu基金属ガラス + 50wt%Cu (EC) | 33          | 756        |
| Cu基金属ガラス + 40wt%Cu (EC) | 20          | 816        |
| Cu基金属ガラス + 30wt%Cu (EC) | 10          | 1139       |
| Cu基金属ガラス + 50wt%リン青銅    | 10          | 875        |
| Cu基金属ガラス + 50wt%コルソン    | 8           | 1207       |
| Ni基金属ガラス + 50wt%Cu (EC) | 32          | 640        |
| Ni基金属ガラス + 50wt%リン青銅    | 11          | 878        |
| Ni基金属ガラス + 50wt%コルソン    | 12          | 1179       |

・導電率: 50 wt%純銅との組み合わせで中間目標値(30 % IACS)を達成  
 ・圧縮強さ: 金属ガラスの複合比70 wt%又はコルソン合金との組み合わせで中間目標値(1200 MPa)に匹敵する強さを達成。  
 ・しかしながら、いずれかの相が孤立した組織により、特性の両立は困難。

### 3. 研究開発成果

#### ホットプレス固化成形材の課題

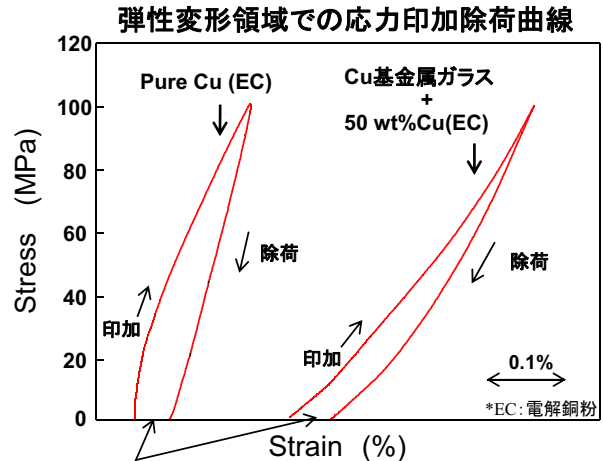
資料 6-1-3

複合則で予測される値より各特性が低い  
⇒相の孤立以外の原因調査

純銅および金属ガラスの機械的性質および導電率

|                  | ヤング率 (GPa) | 0.2%耐力 (MPa) | 導電率 (%IACS) |
|------------------|------------|--------------|-------------|
| 純銅               | 130        | 200          | 100         |
| Pure Cu (EC) HP材 | 93         | 162          | 69          |
| Pure Cu (AT) HP材 | 53         | 94           | 72          |
| Cu-MG            | 107        | 1899         | 5           |

\*EC: 電解銅粉, AT: アトマイズ粉



見かけの塑性変形⇒緻密化が不十分

- ・緻密化を促進し、かつ金属ガラスとフィラーの相互のネットワーク化を図るため、せん断変形によりひずみを加え、強加工することが必要  
→予備成形後の**圧延加工**、**押し出し**等のプロセスが必要

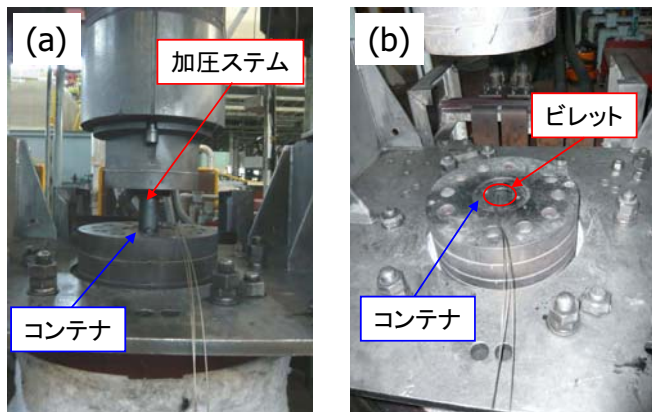
### 3. 研究開発成果

#### 押出法による複合化金属ガラスの作製

資料 6-1-3



押出実験装置外観



コンテナ

#### 装置仕様

- 名称: 400 t プレス機((株)神戸製鋼)
- 押出速度: 0.5 ~ 1800 mm/sec
- 加熱方式: 抵抗加熱
- 温度制御: ±10 °C

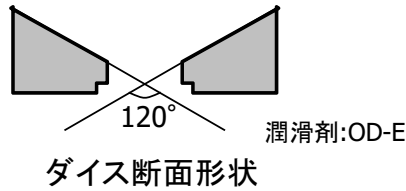
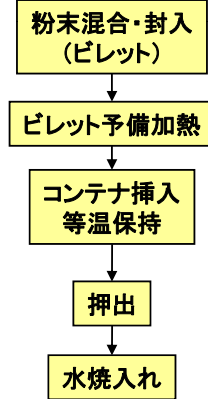


# 3. 研究開発成果

## 押出法による丸断面材作製

資料 6-1-3

### 押出試験フロー



試作試料の詳細と押出条件

| ピレットNo.          | 1               | 2               | 3                       | 4               | 5               | 6                       | 7               | 8               | 9               | 10              |
|------------------|-----------------|-----------------|-------------------------|-----------------|-----------------|-------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 条件               | CuZrAlAg        |                 | Zr <sub>55</sub> CuAlNi |                 |                 | Zr <sub>85</sub> CuAlNi |                 |                 |                 |                 |
| 重量混合比 (金属ガラス:Cu) | 50:50           |                 |                         | 45:55           |                 |                         | 50:50           |                 |                 |                 |
| 予備加熱             | 温度(°C)          | 436( $T_g-10$ ) |                         | 410( $T_g-10$ ) |                 |                         | 350( $T_g-10$ ) |                 |                 |                 |
|                  | 時間 (min)        | 60              |                         |                 |                 |                         |                 |                 |                 |                 |
| 押出温度(°C)         | 456<br>$T_g+10$ | 466<br>$T_g+20$ | 430<br>$T_g+10$         | 440<br>$T_g+20$ | 450<br>$T_g+30$ | 460<br>$T_g+20$         | 370<br>$T_g+10$ | 380<br>$T_g+20$ | 390<br>$T_g+30$ | 400<br>$T_g+40$ |
| 押出速度(mm/min)     | 60 (ラム速度)       |                 |                         |                 |                 |                         |                 |                 |                 |                 |
| 押出比              | 5               |                 |                         |                 |                 |                         |                 |                 |                 |                 |

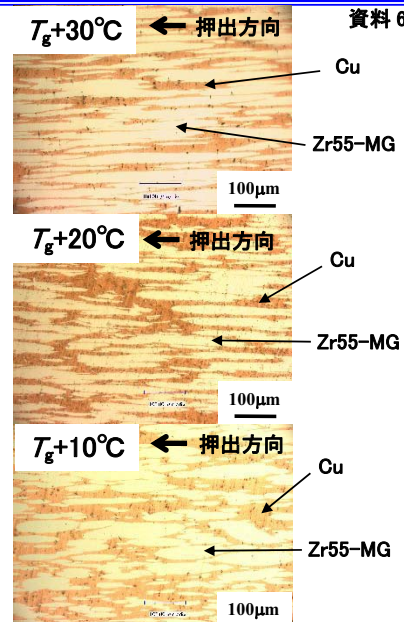
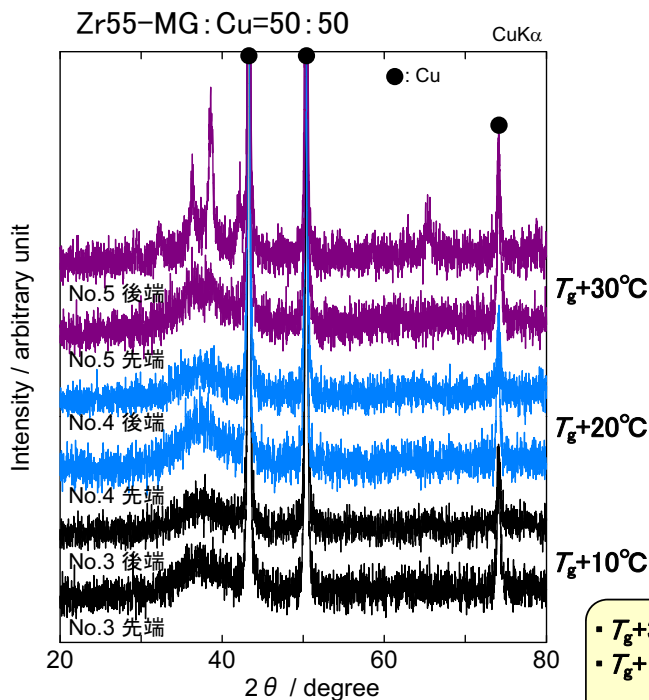
ピレット外観



# 3. 研究開発成果

## 押出法による複合化金属ガラスの構成相と組織

資料 6-1-3



金属ガラス相が繊維状に変形

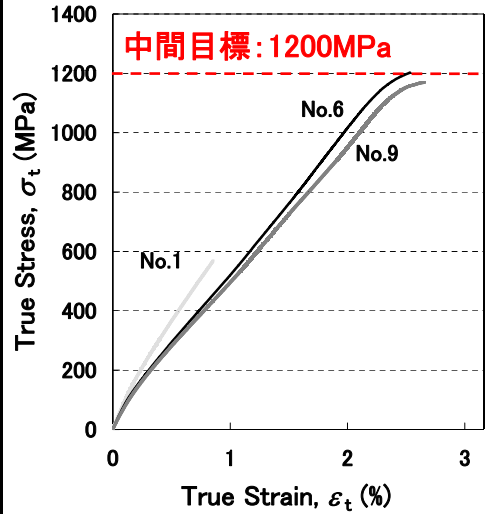
- $T_g+30^\circ\text{C}$ 以上では、結晶化
- $T_g+10^\circ\text{C}$ では、金属ガラス相の変形がやや不十分  
→  $T_g + 20^\circ\text{C}$ 程度が押出温度として適正

### 3. 研究開発成果

#### 押出法による複合化金属ガラスのS-Sカーブと諸特性

資料 6-1-3

| No. | 配合                     | 押出温度 (°C) | 導電率 (%IACS) | 引張強さ (MPa) | 破断伸び (%) | 弾性率 (GPa) |
|-----|------------------------|-----------|-------------|------------|----------|-----------|
| 1   | Cu金属ガラス: Cu<br>50:50   | $T_g+10$  | 30          | 568        | 0.85     | 67        |
| 2   |                        | $T_g+20$  | 29          | 511        | 0.74     | 67        |
| 3   | Zr55金属ガラス: Cu<br>50:50 | $T_g+10$  | 27          | 1266       | 2.45     | 50        |
| 4   |                        | $T_g+20$  | 28          | 1146       | 2.40     | 55        |
| 5   |                        | $T_g+30$  | 29          | 486        | 0.80     | 60        |
| 6   | Zr55金属ガラス: Cu<br>45:55 | $T_g+20$  | 30          | 1202       | 2.53     | 52        |
| 7   | Zr65金属ガラス: Cu<br>45:55 | $T_g+10$  | 32          | 1001       | 2.32     | 53        |
| 8   |                        | $T_g+20$  | 33          | 1029       | 2.23     | 51        |
| 9   |                        | $T_g+30$  | 29          | 1170       | 2.70     | 51        |
| 10  |                        | $T_g+40$  | 27          | 1118       | 2.70     | 51        |



- ・No.6 (Zr55金属ガラス: Cu = 45:55、 $T_g+20^\circ\text{C}$ )で強度と導電率の中間目標値を達成した
- ・Zr55、Zr65金属ガラスの使用で、30 %IACS前後、1000~1200 MPaの複合材が得られた
- ・押出による複合化技術を確立。但し、ヤング率は複合則で予測される値よりも低い

⇒ 薄板化を考慮し、No.6と同様の条件で、**矩形断面での押出**を検討

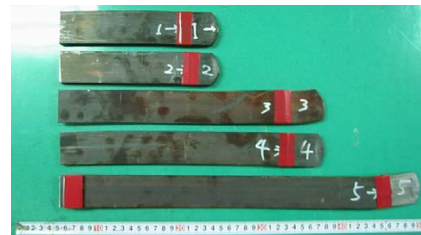
### 3. 研究開発成果

#### 矩形断面押出による複合化金属ガラスの作製

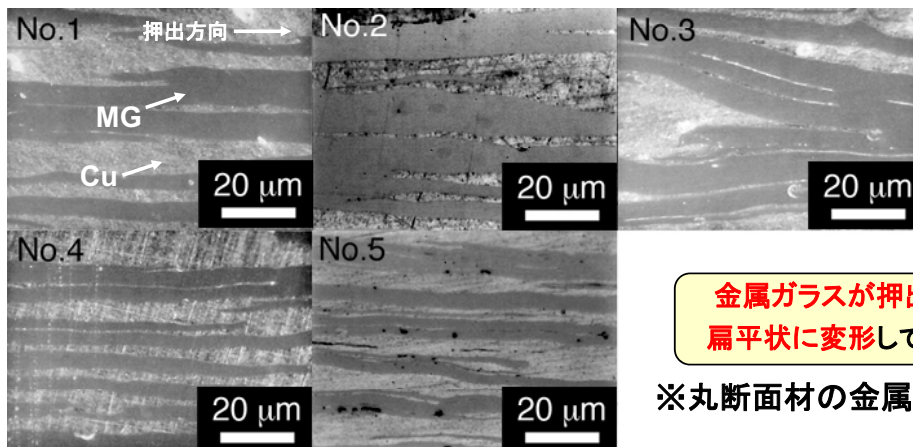
資料 6-1-3

試作試料の詳細と押出条件

| ピレットNo. 条件         | 1               | 2               | 3     | 4     | 5     |
|--------------------|-----------------|-----------------|-------|-------|-------|
|                    | Zr55CuAlNi      |                 |       |       |       |
| 粉末重量比(金属ガラス粉:純Cu粉) | 45:55           | 40:60           | 45:55 | 40:60 | 40:60 |
| 予備加熱               | 温度(°C)          | 410( $T_g-10$ ) |       |       |       |
|                    | 時間(min)         | 60              |       |       |       |
| 押出温度(°C)           | 440( $T_g+20$ ) |                 |       |       |       |
| 押出速度(mm/min)       | 60              |                 |       |       |       |
| 押出比                | 5               | 5               | 8     | 12.3  |       |



矩形断面押出材の外観



矩形断面押出材の断面組織

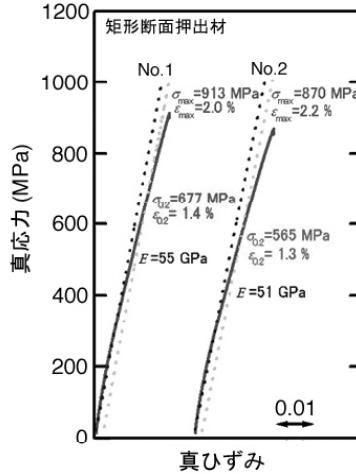
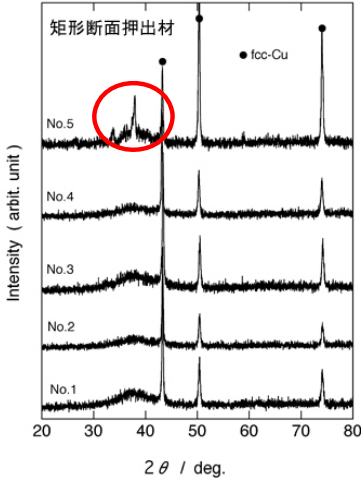
金属ガラスが押出方向に沿って扁平状に変形していることを確認

※丸断面材の金属ガラス相は繊維状

# 3. 研究開発成果

## 矩形断面押出による複合化金属ガラスの諸特性

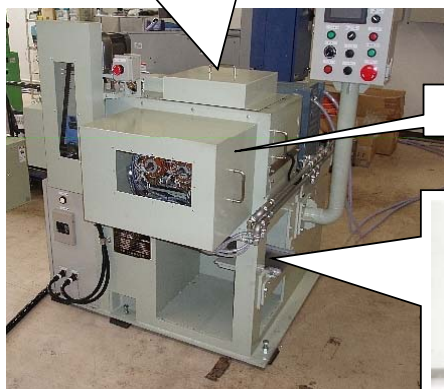
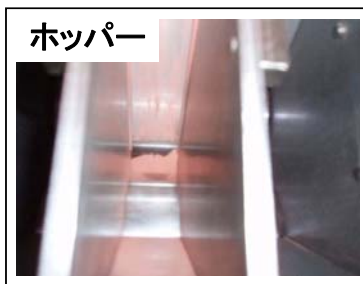
| No. | 配合比<br>(Zr55金属ガラス:Cu) | 押出温度<br>(°C)        | 圧縮強さ<br>(MPa) | 引張試験          |             |               | 導電率<br>(%IACS) |
|-----|-----------------------|---------------------|---------------|---------------|-------------|---------------|----------------|
|     |                       |                     |               | 引張強さ<br>(MPa) | 破断伸び<br>(%) | ヤング率<br>(GPa) |                |
| 1   | 45:55                 | 440<br>( $T_g+20$ ) | 1100          | 913           | 2.0         | 55            | 34             |
| 2   | 40:60                 |                     | 1033          | 870           | 2.2         | 51            | 36             |
| 3   | 45:55                 |                     | 1188          | 791           | 1.6         | 59            | 31             |
| 4   | 40:60                 |                     | 1081          | 832           | 2.0         | 51            | 38             |
| 5   | 40:60                 |                     | 1176          | 535           | 1.0         | 52            | 32             |



- ① 平板押出では、丸棒押出と同じ押出比でも強度が低下。  
→ 矩形材組織(扁平状金属ガラス)が応力集中を招き、強度低下の要因になったと推察される。
- ② 高押出比で強度が低下。  
→ 上述の扁平状金属ガラスに加え、平板押出では、加工発熱が大きく、結晶化が起こり易いと推察。

# 3. 研究開発成果

## 混合粉末予備固化装置の導入



混合粉末予備固化装置外観

ロールユニット



出側

### 導入の目的

- ・ 混合粉末を予備固化圧延で直接複合化金属ガラス板材を創製
- ・ 複合化金属ガラス板材の連続生産を検討
- ・ 得られた予備固化板材を精密温間圧延装置で薄板化

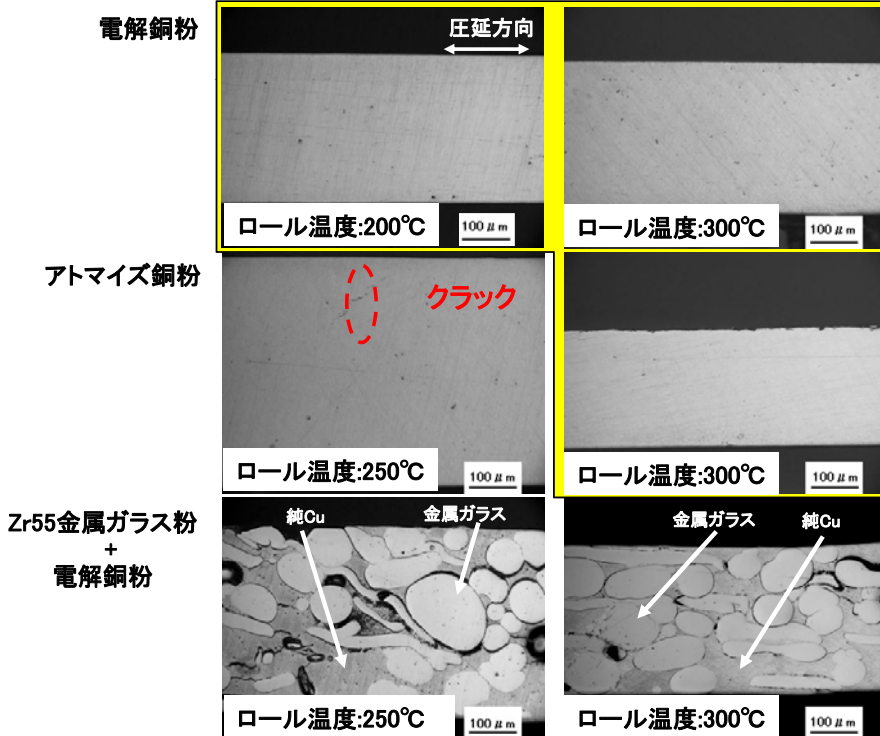
### 混合粉末予備固化装置仕様

|         |                             |
|---------|-----------------------------|
| 圧延寸法    | 板厚: 0.1 mm以上<br>板幅: 160mm以下 |
| ロール寸法   | 直径: 125mm<br>長さ: 200mm      |
| 圧延荷重    | 25t以下                       |
| 圧延速度    | 0.2~2.0m/分                  |
| ロール表面温度 | 常用300°C<br>最高400°C          |

### 3. 研究開発成果

#### 粉末予備固化実験(予備固化成形体の断面組織)

資料 6-1-3



おおむね緻密化した板材  
が得られた

- ・250℃では界面剥離、クラック発生
- ・300℃ではやや改善、金属ガラスの変形量が増大
- ・精密圧延に供給可能な予備固化成形体を得ることが可能

### 3. 研究開発成果

#### 成果のまとめと目標達成状況

資料 6-1-3

| 区分     | 開発項目     | 中間目標                          | 成果まとめ   | 中間目標達成状況 |
|--------|----------|-------------------------------|---|----------|
| 共通基盤技術 | 合金創製と複合化 | 引張強さ1200 MPa以上<br>導電率30 %IACS | <p>1. 合金創製</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・強度、導電性および熱的安定性の観点からZr-Al-Ni-Cu系、Cu-Zr-Ag-Al系およびNi-Nb-Ti-Zr-Co-Cu系金属ガラスを選定し、不活性ガスアトマイズ法で粉末化。</li> <li>・導電性、コストの観点から導電性フィラーとして、電解Cu粉、不活性ガスアトマイズ法で粉末化した純Cu、りん青銅、コルソン合金を選定した。</li> </ul> <p>2. 複合化技術</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・混合粉末をホットプレス法により固化成形し、複合化金属ガラスを創製。しかしながら、双方のネットワーク構造が形成できず、強度と導電性が両立できず。押出加工等の大きなせん断力による強加工が必要と判断。</li> <li>・Zr基金属ガラス粉末と純Cu粉末の押出法による固化成形で、双方のネットワーク構造が発達した複合化金属ガラスを創製。創製した複合化金属ガラスが1202 MPaの引張強さと30 %IACSの導電率を示すことを明らかにし、強度と導電率の中間目標を達成。</li> <li>・これにより、金属ガラスと結晶合金の混合粉末の温間押出加工による複合化金属ガラス創製技術を確立。</li> <li>・薄板化を考慮した矩形断面押出法による複合化金属ガラスの創製を試みた。しかしながら、同一押出条件で強度と導電性の再現はできず。</li> </ul> | ◎        |
|        | 精密薄板作製技術 | 板厚0.1 mm程度<br>板幅10 mm以上       |   |          |

## 高強度・高導電性部材技術の研究開発

1. 研究開発背景
2. 目標値および開発体制
3. 研究開発成果
  - 研究開発項目③-1 高強度・高導電性複合化金属ガラスの合金創製
  - 研究開発項目③-2 精密薄板作製技術の開発
4. まとめと今後の課題
5. 実用化の見通し(公開部分)

## 3. 研究開発成果

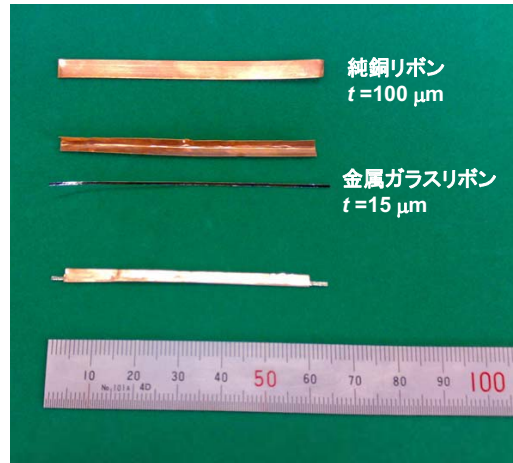
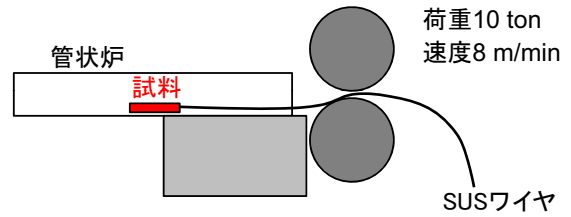
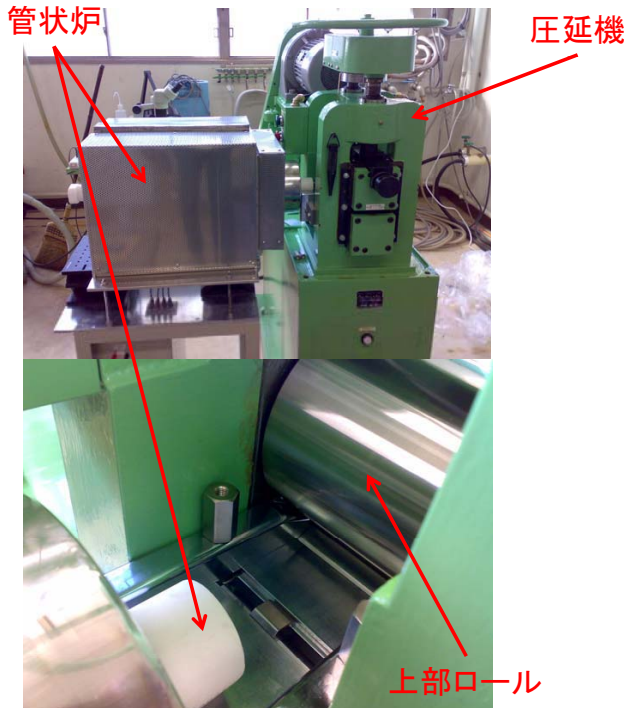
### 研究開発項目③-2 精密薄板作製技術の開発

1. 研究内容の詳細
2. 精密温間圧延装置の導入とクラッド材試作
3. 粉末固化成形材の薄板化
  - 3-1. ホットプレス材の薄板化
  - 3-2. 押出材の薄板化
4. 非平衡結晶合金の開発と特性評価
5. 成果のまとめと目標達成状況

### 3. 研究開発成果

#### 精密温間圧延装置

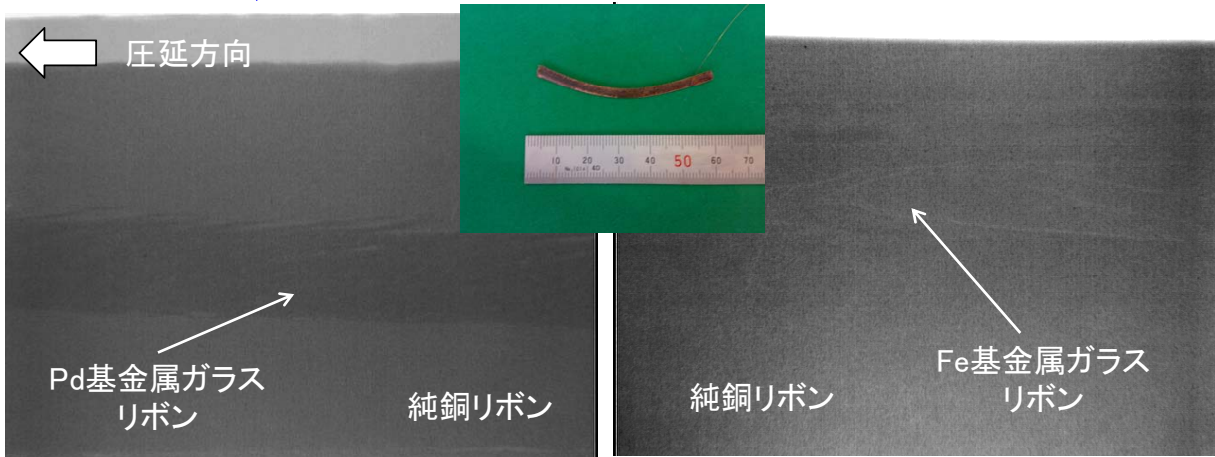
資料 6-1-3



### 3. 研究開発成果

#### 精密温間圧延装置によるクラッド材試作 (2007.1.12プロジェクト事前評価で評価委員よりのご意見)

資料 6-1-3



圧延条件  
 温度 : 340°C (T<sub>g</sub>+40°C)  
 初期厚さ : 217 μm  
 ロール間隔 : 200 μm  
 圧下率 : 7.8 %

圧延条件  
 温度 : 580°C (T<sub>g</sub>+20°C)  
 初期厚さ : 213 μm  
 ロール間隔 : 200 μm  
 圧下率 : 6.5 %

#### 金属ガラスと純銅のクラッド圧延材

極めて小さな圧下率でも金属ガラスに割れが生じる  
 → 高ひずみ速度による過冷却液体の弾性的振る舞い

- ・ロール速度減少によるひずみ速度低減
- ・加熱ロールによる安定した温間圧延が必要

# 3. 研究開発成果

## クラッド圧延での変形抵抗比の見積り

資料 6-1-3

古典圧延理論(二次元)

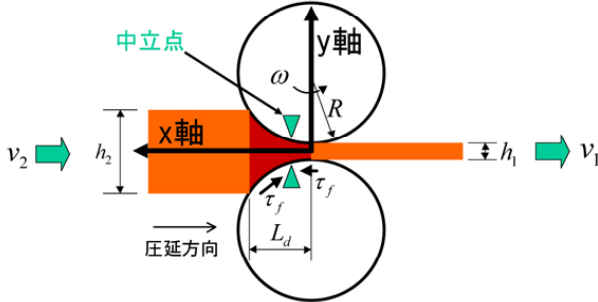


図 圧延プロセスのパラメータと座標軸<sup>1)</sup>

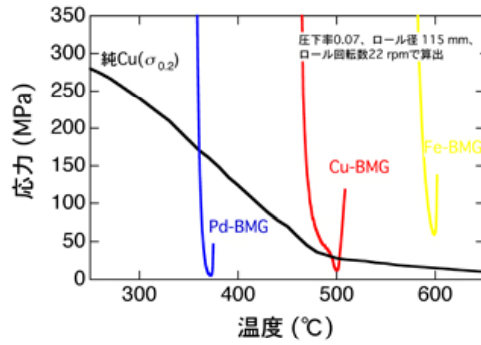


図 純Cuの降伏応力とPd基、Cu基およびFe基金属ガラスの過冷却液体状態での流動応力の温度依存性

1. 板厚方向の圧縮ひずみ

$$\epsilon_{yy} = \ln\left(\frac{h_1}{h_2}\right) = \ln(1-r)$$

過冷却液体状態でのMGの圧延変形抵抗

2. 接触弧長

$$L_d \approx \sqrt{R(h_2 - h_1)} \rightarrow \bar{\sigma} = \eta(T) \cdot \dot{\epsilon}$$

3. 圧延でのひずみ速度

$$\dot{\epsilon} = \epsilon_{yy} (\omega / L_d)$$

1) 圧延理論(初級)、東大生研 柳本 潤

### 変形抵抗比3以下での強固なクラッド接合

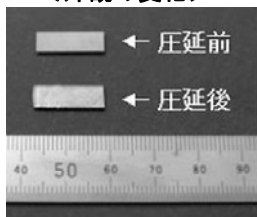
- 弾性限の大きな金属ガラス箔(約2%)を表層に配置したクラッド材設計
- 加熱ロールによる急速加熱が可能な予備硬化圧延による複合化金属ガラス精密薄板の創製

# 3. 研究開発成果

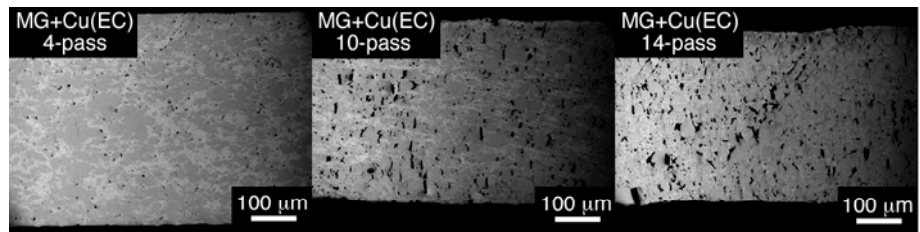
## ホットプレス材の薄板化

資料 6-1-3

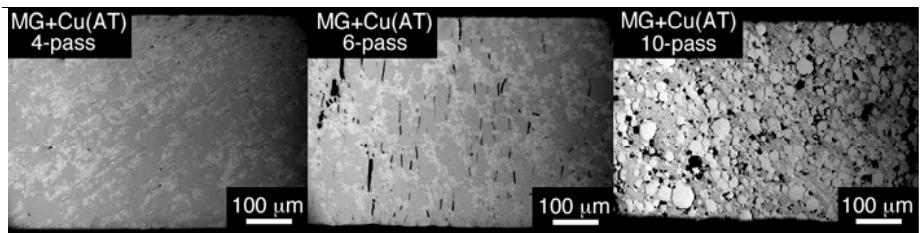
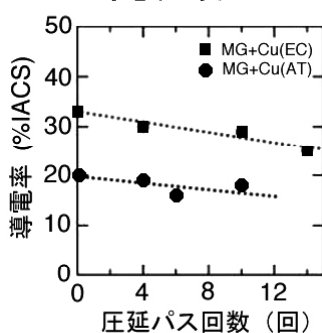
<外観の変化>



<断面組織の変化>



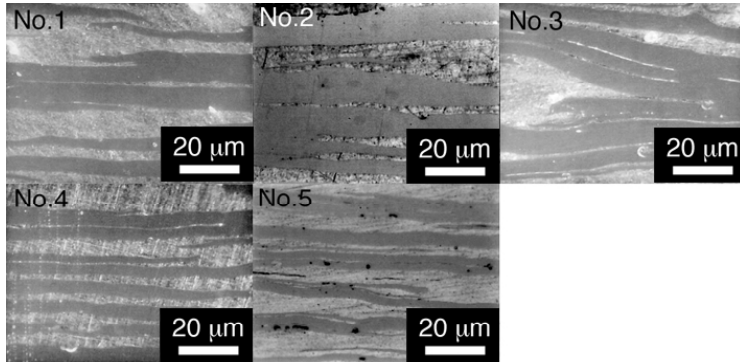
<導電率の変化>



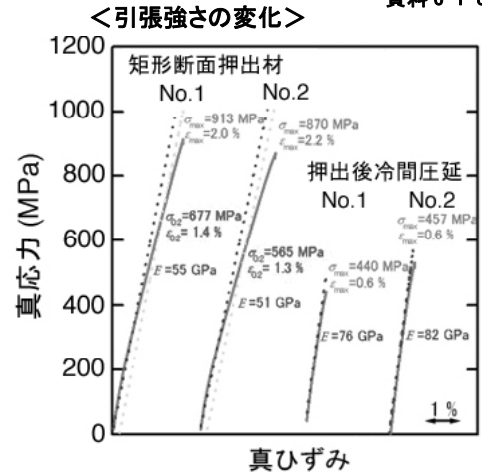
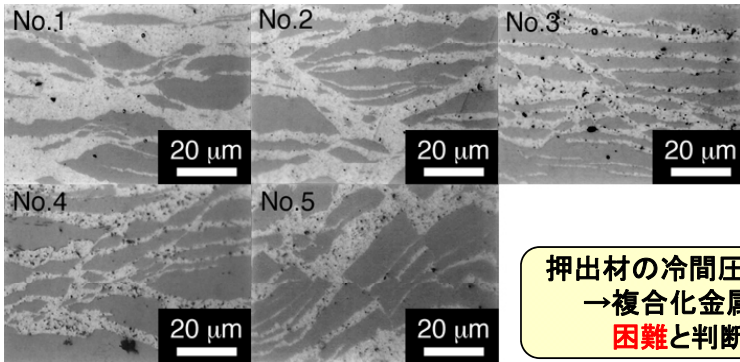
- 試料に割れが入るため約20 μm毎の圧下→10パス程度で外観クラックが発生
- 圧延パス増加に伴い導電性劣化、クラックにより機械的性質測定試験片が作製困難 → 冷間圧延によるホットプレス複合化金属ガラスの精密薄板化は好ましくない

# 3. 研究開発成果

## 矩形断面押出材の薄板化 <断面組織の変化>



冷間圧延(圧下率75%)



## <導電率の変化>

|       | No.1 | No.2 | No.3 | No.4 | No.5 |
|-------|------|------|------|------|------|
| 押出まま  | 34.0 | 36.2 | 31.9 | 37.5 | 32.3 |
| 50%圧下 | 28.0 | 32.5 | 23.1 | 28.5 | 23.1 |
| 75%圧下 | 21.6 | 23.9 | 16.5 | 23.1 | 17.3 |

押出材の冷間圧延加工は強度・導電性共に劣化  
 →複合化金属ガラスの圧延による精密薄板化は  
 困難と判断

# 3. 研究開発成果

## 複合化金属ガラス精密薄板の創製方法

<金属ガラスを出発材とする>

混合粉末予備固化  
 ロール温度: 300°C  
 100 μm

金属ガラスと結晶の混合固化と薄板化

冷間圧延

圧延加工による最終仕上げ

<金属ガラスを出発材としない>

銅合金急冷铸造

共晶合金の铸造による

冷間圧延

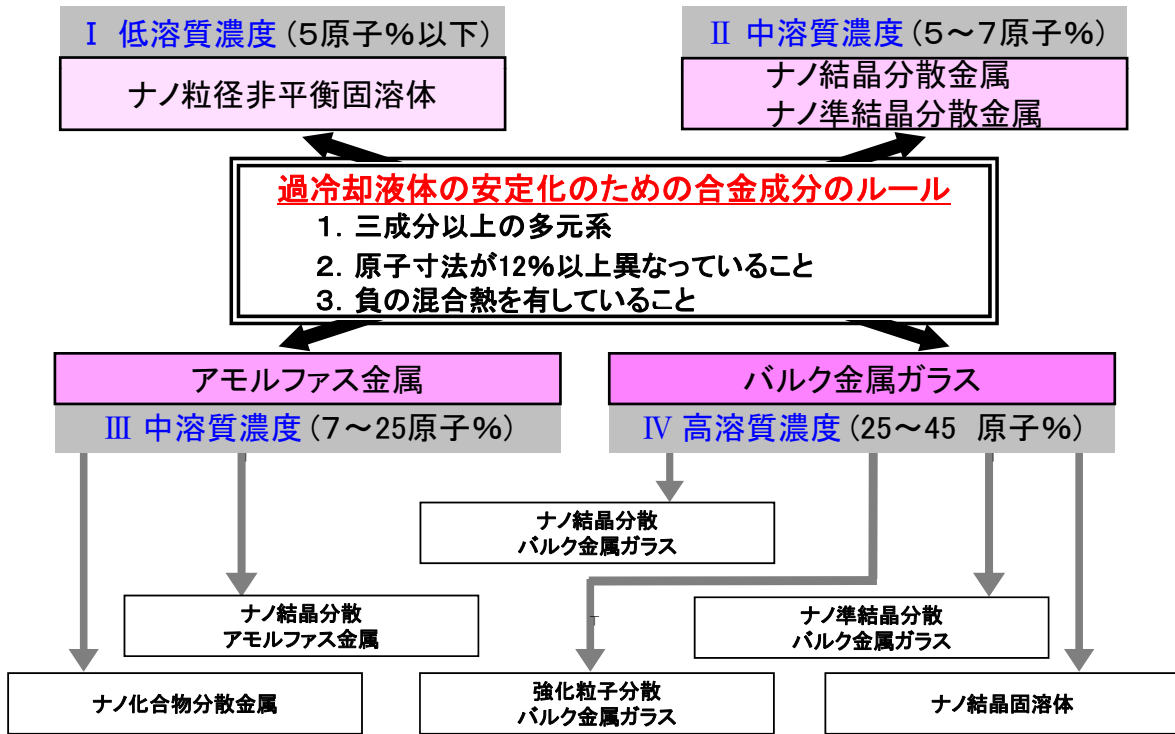
強加工によるガラス相生成\*と精密薄板化



### 3. 研究開発成果

#### 金属ガラスから派生した非平衡結晶合金の可能性

資料 6-1-3



### 3. 研究開発成果

#### 非平衡結晶合金の創製プロセスと特性一覧

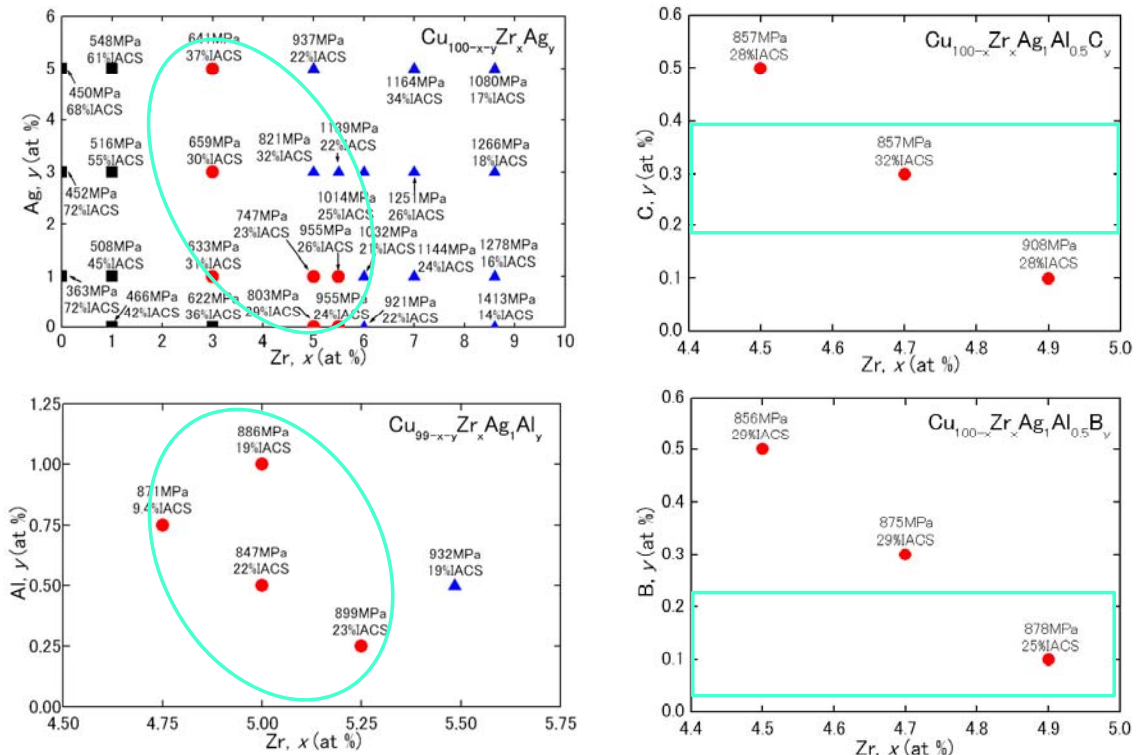
資料 6-1-3

|  | 創製プロセス           | 0.2%耐力<br>MPa | 破断強さ<br>MPa | 破断ひずみ<br>% | 導電率<br>%IACS |
|--|------------------|---------------|-------------|------------|--------------|
| Cu-Zr-Ag-Al系<br>バルク金属ガラス                                       | 金型鋳造             | 2000(圧縮)      | 2000(圧縮)    | 2.0(圧縮)    | 6            |
| Cu <sub>95</sub> Zr <sub>5</sub> <sup>1)</sup>                 | 金型鋳造→冷間圧延(98%)   | 750(引張)       | 1095(引張)    | 3.0(引張)    | 35           |
| Cu <sub>95</sub> Zr <sub>5</sub> <sup>2)</sup>                 | 金型鋳造→冷間線引(99.7%) | 1205(引張)      | 1798(引張)    | 2.4(引張)    | 31           |
| Cu <sub>90</sub> Zr <sub>5</sub> Hf <sub>5</sub> <sup>3)</sup> | 金型鋳造(急冷チル層)      | ?             | 1900(圧縮)    | 15.0(圧縮)   | (11)         |
| 純Cu <sup>4)</sup>  | 焼き鈍し             | 80(引張)        | 200(引張)     | 40(引張)     | 100          |
|  | 冷間線引(60%)        | 350(引張)       | 380(引張)     | 2(引張)      |              |
| クロム銅 <sup>5)</sup>   | 焼き鈍し             | 316(引張)       | 320(引張)     |            | 80           |
|  | 冷間線引(線引ひずみ7)     | 770(引張)       | 906(引張)     |            | ?            |
| 中間目標   |                  |               | 1200(引張)    |            | 30           |

1) H. M. Kimura, A. Inoue, K. Sasamori, H. Yoshida and O. Haruyama: Mater. Trans., 46(2005)1733-1736.  
 2) H. M. Kimura, A. Inoue, N. Muramatsu, K. Shin and T. Yamamoto: Mater. Trans., 47(2006)1595-1598.  
 3) A. R. Yavari, K. Ota, K. Georgarakis, A. LeMoulec, F. Charlot, G. Vaughan, A. L. Greer and A. Inoue: Acta Mater., 56(2008)1830-1839.  
 4) Metals Handbook 9th edition, Vol.2, American Society for Metals.  
 5) 安達和彦, 坪川純之, 竹内孝夫, 鈴木洋夫: 日本金属学会誌, 61(1997)397-403.

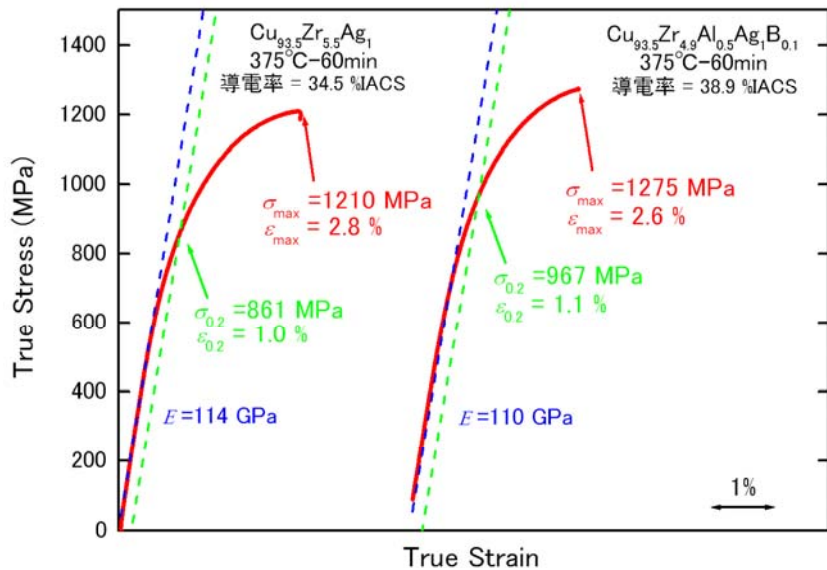
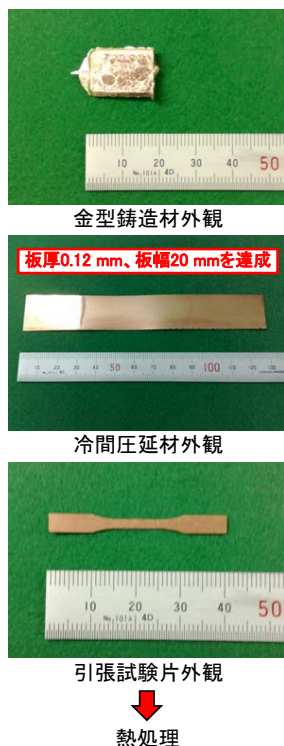
### 3. 研究開発成果

#### 非平衡結晶合金の合金探索



### 3. 研究開発成果

#### 非平衡結晶合金の薄板化と機械的性質



- ・ 鑄造→冷間圧延→熱処理工程で、板厚0.12 mm、板幅20 mmの精密薄板材を作製し、板材寸法の間目標値を達成。
- ・ 作製した薄板材は良好な導電率(約39 %IACS)を発現しつつ、市販材料を凌駕する引張強さ(1275 MPa)を示すことを確認し、中間目標値を達成。

# 3. 研究開発成果

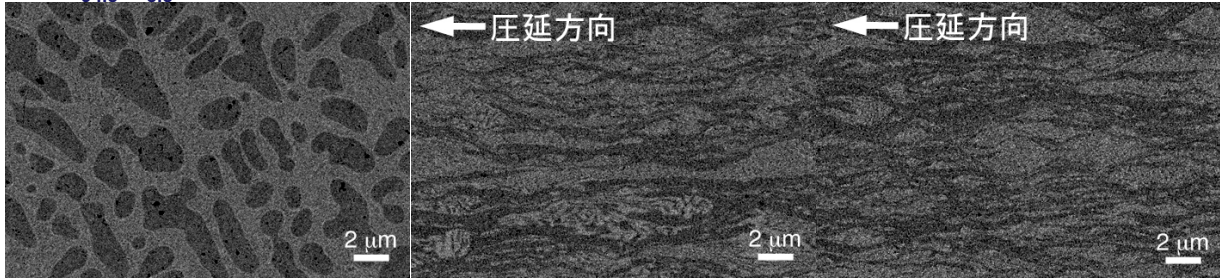
## 非平衡結晶合金の組織と機械的性質

<Cu<sub>94.5</sub>Zr<sub>5.5</sub>合金>

鑄造材

冷間圧延材

熱処理材

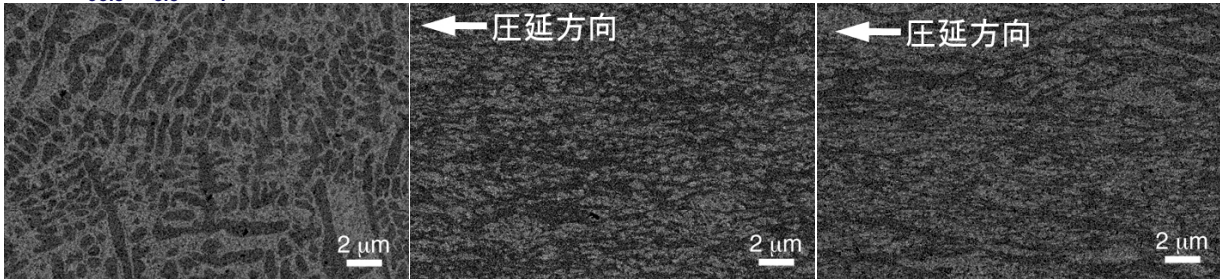


<Cu<sub>93.5</sub>Zr<sub>5.5</sub>Ag<sub>1</sub>合金>

鑄造材

冷間圧延材

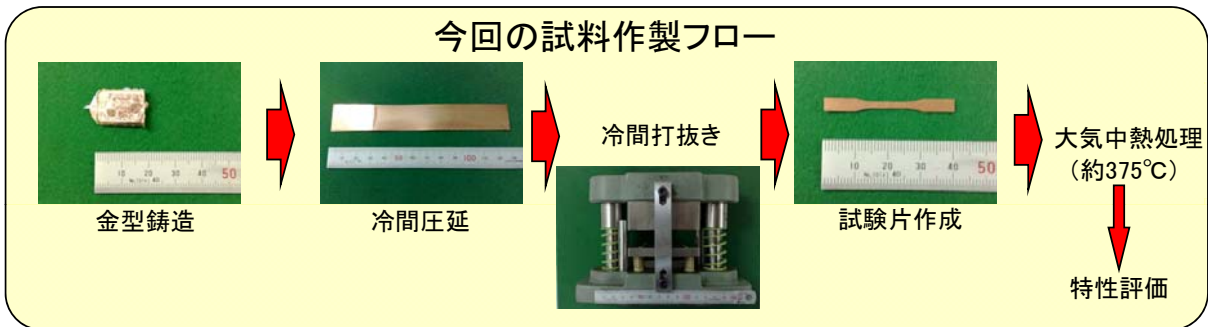
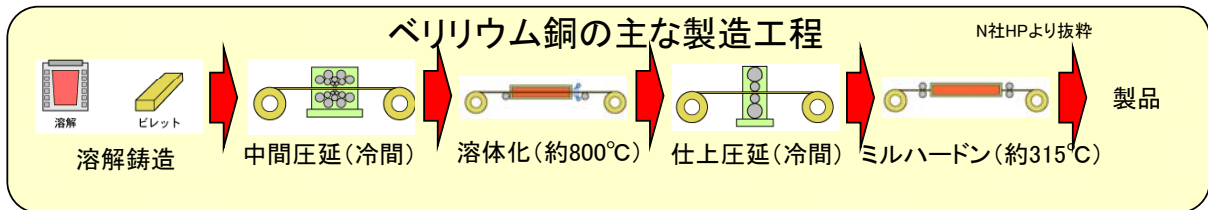
熱処理材



|               |                                       |   |        |   |               |
|---------------|---------------------------------------|---|--------|---|---------------|
| 組織<br>Agの添加効果 | α-Cuデンドライトが圧延により扁平化                   | → | 導電性の向上 | → | 構造組織の詳細な調査が必要 |
|               | α-Cuのデンドライトが微細に析出<br>圧延によって共晶組織が細かく分断 | → | 強度の向上  |   |               |

# 3. 研究開発成果

## 市販ベリリウム銅と非平衡結晶合金との製造工程比較



### 製造プロセスの改善課題

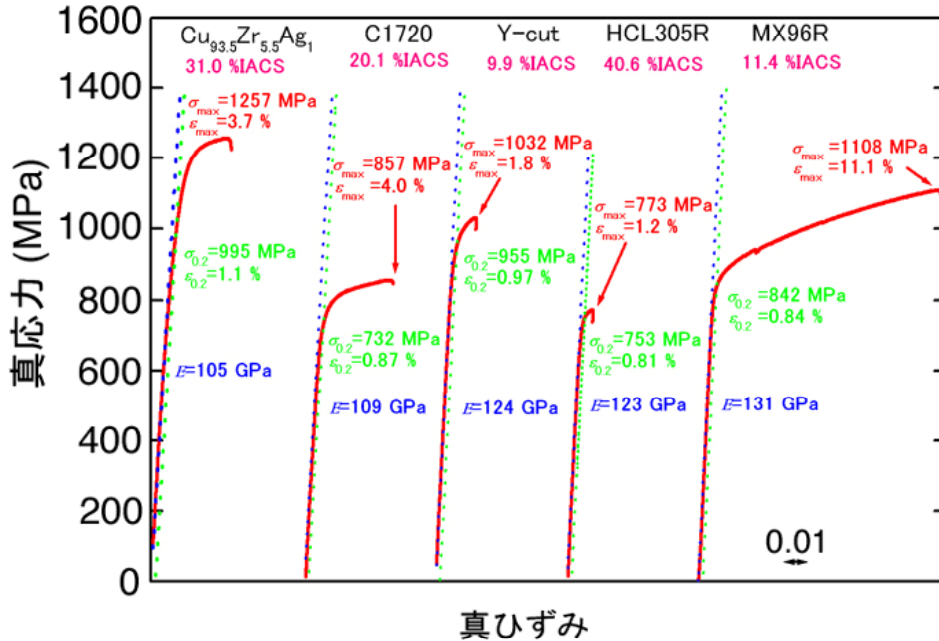
- ・鑄造によるバッチ製造から粉末を利用した連続製造に移行検討。フープ材の製造プロセスを構築
- ・最終目標板厚 (0.05 mm) 達成のため、現有冷間圧延装置の多段化・ロール小径化改造を実施

### 3. 研究開発成果

#### 伸びの改善と市販電気接点用銅合金との比較

資料 6-1-3

製造工程: 鋳造→冷間圧延→熱処理(350℃-60min)→冷間圧延



圧延・熱処理工程の見直しにより強度、導電率を維持しつつベリリウム銅並みの伸び3.7%を達成

### 3. 研究開発成果

#### 成果のまとめと目標達成状況

資料 6-1-3

| 区分     | 開発項目     | 中間目標                          | 成果まとめ  | 中間目標達成状況 |
|--------|----------|-------------------------------|--|----------|
| 共通基盤技術 | 合金創製と複合化 | 引張強さ1200 MPa以上<br>導電率30 %IACS |  |          |
|        | 精密薄板作製技術 | 板厚0.1 mm程度<br>板幅10 mm以上       | <ol style="list-style-type: none"> <li>クラッド法による精密薄板化                     <ul style="list-style-type: none"> <li>純Cu箔とPd基およびFe基金属ガラスリボンをういクラッド法により薄板化を試みた。しかしながら、極めて小さな圧下率でも割れを生じた。</li> <li>古典圧延理論による変形抵抗見積りから、クラッド法での複合化金属ガラス精密薄板の作製は、ひずみ速度低下と加熱ロールが判断した。</li> </ul> </li> <li>混合粉末固化材の精密薄板化                     <ul style="list-style-type: none"> <li>ホットプレス法および押出法による複合化金属ガラス固化成形材を冷間圧延により薄板化した。強度、導電性伴に劣化した。</li> </ul> </li> <li>非平衡結晶合金の精密薄板化                     <ul style="list-style-type: none"> <li>金属ガラス生成の成分則を活用し、新たにCu-Zr-Ag-AI系非平衡結晶合金を開発した。本合金に冷間圧延、熱処理を施すことにより、<b>引張強さ1275 MPa、導電率39 %IACS</b>を得て中間目標値を達成した。</li> <li>本合金で幅20 mm、厚さ0.12 mm、長さ200 mmの精密薄板を作製し、精密薄板の寸法目標値を達成した。</li> </ul> </li> <li>コネクタ部材の試作                     <ul style="list-style-type: none"> <li>コネクタ 試作品の評価結果から<b>工程を見直し、伸び3.7%を達成した。</b></li> </ul> </li> </ol> | ◎        |

## 高強度・高導電性部材技術の研究開発

1. 研究開発背景
2. 目標値および開発体制
3. 研究開発成果
  - 研究開発項目③-1 高強度・高導電性複合化金属ガラスの合金創製
  - 研究開発項目③-2 精密薄板作製技術の開発
4. まとめと今後の課題
5. 実用化の見通し(公開部分)

## 4. まとめと今後の課題

## 外部発表まとめ

|       | 平成19年度 | 平成20年度 | 平成21年度 | 合計 |
|-------|--------|--------|--------|----|
| 展示会等  | 0      | 3      | 0      | 3  |
| 報道記事等 | 0      | 0      | 0      | 0  |
| 論文・著書 | 0      | 2      | 0      | 2  |
| 口頭発表  | 5      | 9      | 3      | 17 |
| 受賞    | 0      | 0      | 0      | 0  |
| 特許出願  | 0      | 2      | 0      | 2  |

## 特筆すべき成果

- ・金属ガラス粉末と導電性フィラーを混合・固化して複合化金属ガラスを創製する複合化技術を確立。強度と導電性で中間目標を達成。
- ・金属ガラス生成の成分則を活用し、Cu基非平衡結晶合金を新たに開発。開発した合金がベリリウム銅を陵駕する1260 MPaの引張強さと31 %IACSの導電率および3.7 %の伸びを示すことを確認し、板材寸法(幅20 mm、厚さ0.12 mm)と共に中間目標を達成。
- ・Cu基非平衡結晶合金を用いて携帯電話用SIMカードコネクタを試作。

# 4. まとめと今後の課題

## 最終目標達成に向けた今後の課題と対策

| 区分     | 開発項目     | 最終目標                          | 今後の課題  |
|--------|----------|-------------------------------|--|
| 共通基盤技術 | 合金創製と複合化 | 引張強さ1500 MPa以上<br>導電率60 %IACS | 1. 合金創製<br>・合金組成および <b>圧延・熱処理条件の最適化</b> により強度と導電率の向上し、最終目標の早期達成を目指す。<br>・固化成形材として強度と導電性を発揮できる金属ガラスおよび結晶合金の組み合わせを再探索。<br>2. 複合化技術<br>・創製した複合化金属ガラスに予め純Cu相へのひずみの導入により <b>複合材のヤング率を向上させる</b> ことでコネクタ用電気接点部材としての適用を検討。<br>・複合化と薄板化を兼ね備えた混合粉末予備固化法による複合化技術を確立し、複合化金属ガラスの <b>連続製造技術を確立</b> 。 |
|        | 精密薄板作製技術 | 板厚0.05 mm程度<br>板幅50 mm以上      | 3. 非平衡結晶合金の精密薄板化<br>・現行の二段圧延を四段に改造。板厚の <b>最終目標(0.05 mm)</b> の早期達成を目指す。<br>・市販ベリリウム銅と同様の長尺フープ材へ展開を考慮し、非平衡結晶合金粉末を用いた粉末予備固化装置(加熱ロール付)による <b>連続製造技術を確立</b> 。<br>4. 複合化金属ガラス混合粉末固化材の精密薄板化<br>・混合粉末予備固化法で作製した複合化金属ガラス薄板の温間圧延仕上げ加工の実施。<br>5. コネクタ部材の試作<br>・強度および導電性を改善した試料を用いコネクタ部材の試作を継続する   |

# 4. まとめと今後の課題

## 今後の開発スケジュール

|  | 平成21年度   | 平成22年度                  | 平成23年度                                       |
|--|--|-------------------------|--|
| 1. 合金創製<br>・非平衡結晶合金の特性向上<br>・金属ガラス混合粉末の組合せ再検討                                | 強度と導電率改善<br>組合せ再検討   | 圧延熱処理プロセス最適化<br>機能特性の向上 | 最終目標の達成                                      |
| 2. 複合化技術<br>・複合材のヤング率向上<br>・混合粉末予備固化法を活用した複合化金属ガラス薄板の連続製造技術確立                | 電気接点適用への見極め<br>予ひずみ導入  | 予備固化法の基礎検討              |  |
| 3. 精密薄板作製技術<br>・クラッド法による薄板化<br>・粉末固化材による薄板化<br>・非平衡結晶合金の精密薄板化<br>・試料供給と試作の継続 | クラッド材設計変更<br>温間圧延仕上げ加工検討<br>ロール改造による薄板化<br>合金組成調整による特性改善<br>第二次試作と改善 | 加熱ロール試験<br>連続製造技術確立     | 最終目標の達成<br>連続製造技術の確立<br>第三次試作と改善<br>第四次試作と改善 |

## 高強度・高導電性部材技術の研究開発

### 1. 研究開発背景

### 2. 目標値および開発体制

### 3. 研究開発成果

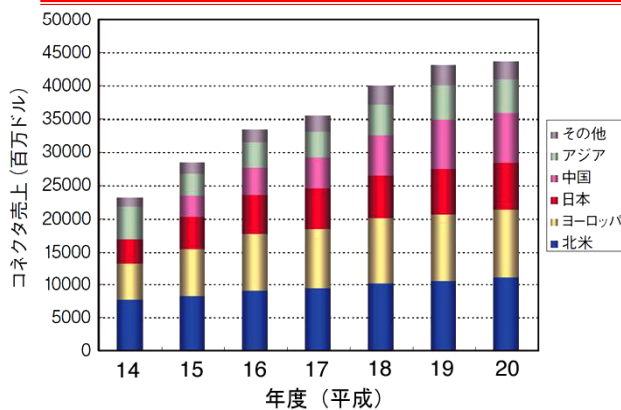
研究開発項目③-1 高強度・高導電性複合化金属ガラスの合金創製

研究開発項目③-2 精密薄板作製技術の開発

### 4. まとめと今後の課題

### 5. 実用化の見通し(公開部分)

## 5. 実用化の見通し(公開部分)



世界のコネクタ売上上の推移

- ・世界で400億ドルを越える市場
- ・国内売上: 452億円/月(平成20年1月)
- ・現在、最盛期の80%まで回復

### コネクタ増加の背景

- ・携帯電話、薄型テレビ、デジタルカメラ、自動車などへの使用
- ・多品種少量生産対応: 機能のモジュール化によるコネクタ接続増加
- ・携帯電話の多機能化: 通話、インターネット、カメラ、GPS、ワンセグ
- ・自動車のエレクトロニクス化: エンジン等の電子制御化、カーナビ、エアバック、ETC等の増加