



# 耐摩耗性と耐食性を両立した 鉄鋼材料の開発

東北大学 金属材料研究所  
加工プロセス工学研究部門

准教授 山中 謙太

教授 千葉 晶彦

2019年12月5日

# 研究開発の背景

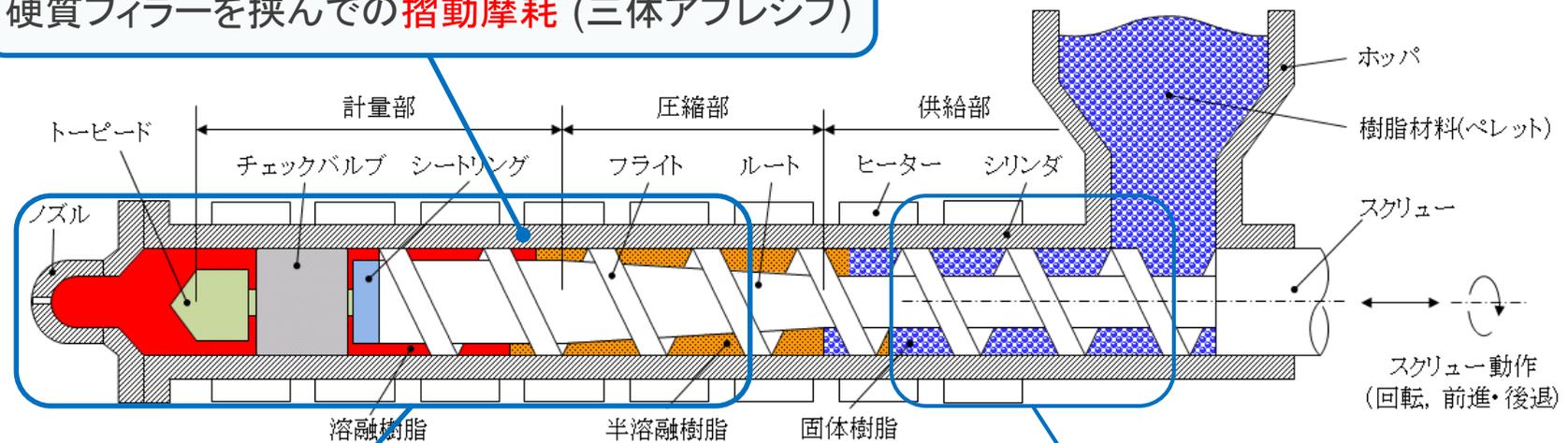
## GF-PPS樹脂の射出成形

GF: ガラス繊維

PPS: ポリフェニレンサルファイド

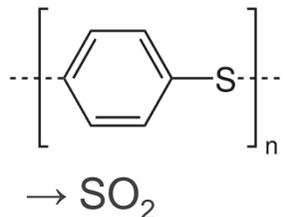
- 自動車部品やエレクトロニクス分野に多用されるスーパーエンブラ。
- PPS樹脂は熱可塑性であり、射出成形により部材製造が行われる。
- 腐食性ガスの発生やGFによる摺動摩擦により、成形装置部材にとって厳しい使用環境。

シリンダとスクリューのクリアランスに硬質フィラーを挟んでの**摺動摩擦** (三体アブレシブ)



樹脂溶融により腐食性ガスが発生し、**厳しい腐食環境**

固形ペレット噛み込みによる振動 (フライトとシリンダとの摺動焼き付き)



# 従来技術とその問題点

## GF-PPS樹脂の射出成形

- スクリュー等の射出成形装置部材には、耐食耐摩耗鋼が使用される。
  - ステンレス鋼
  - 工具鋼
  - (粉末)ハイス鋼
- また、硬質クロムめっきや窒化等による表面処理やTiN等のセラミックスコーティングが用いられる場合もある。
- 上記の既存技術の課題として、以下の点が挙げられる。
  - 炭化物の形成は高硬度化に必須であるが、耐食性が著しく劣化する(トレードオフ)
  - 低C組成では十分な耐摩耗性が得られない
  - 表面処理層・コーティングの脱落
- ハイエンド品は粉末冶金法により製造されるが、コスト面に課題。

# 新技術の特徴

## 耐食性と耐摩耗性を両立した鉄鋼材料

### 1. 高耐摩耗性

高温からの急冷(焼入れ)により微細な炭化物を含むマルテンサイトが形成し、従来材と同等以上の高硬度が得られる。

### 2. 高耐食性

腐食環境における合金元素の選択的溶出(デアロイング)により表面にCu濃化層が形成し、高耐食性を示す。

### 3. 低コスト

合金鋼に一般的な合金元素を用い、通常の製造プロセス(溶解、熱間鍛造)により製造可能。

- 耐摩耗性と耐食性のトレードオフを克服。
- GF-PPS樹脂の射出成形の実機試験を行い、既存材の2倍以上の耐久性\*向上を確認。

# 新技術の特徴

## 耐食性と耐摩耗性を両立した鉄鋼材料

### 高耐摩耗性

微細な炭化物析出  
マルテンサイト組織

既存鋼と同等以上の  
高硬度

### 高耐食性

表面に形成する  
Cu濃化層

既存の耐食鋼と  
異なるメカニズム

## Fe-Cr-W-C-Cu系合金

### 低コスト

一般的な合金元素  
溶解・鍛造により製造可能

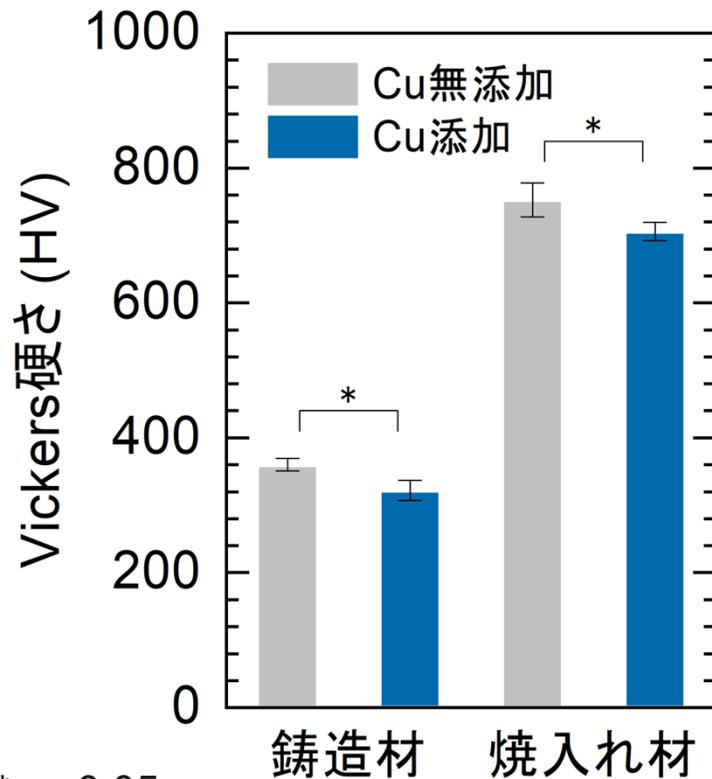
実機試作により製造性を確認

# 組織と硬度特性

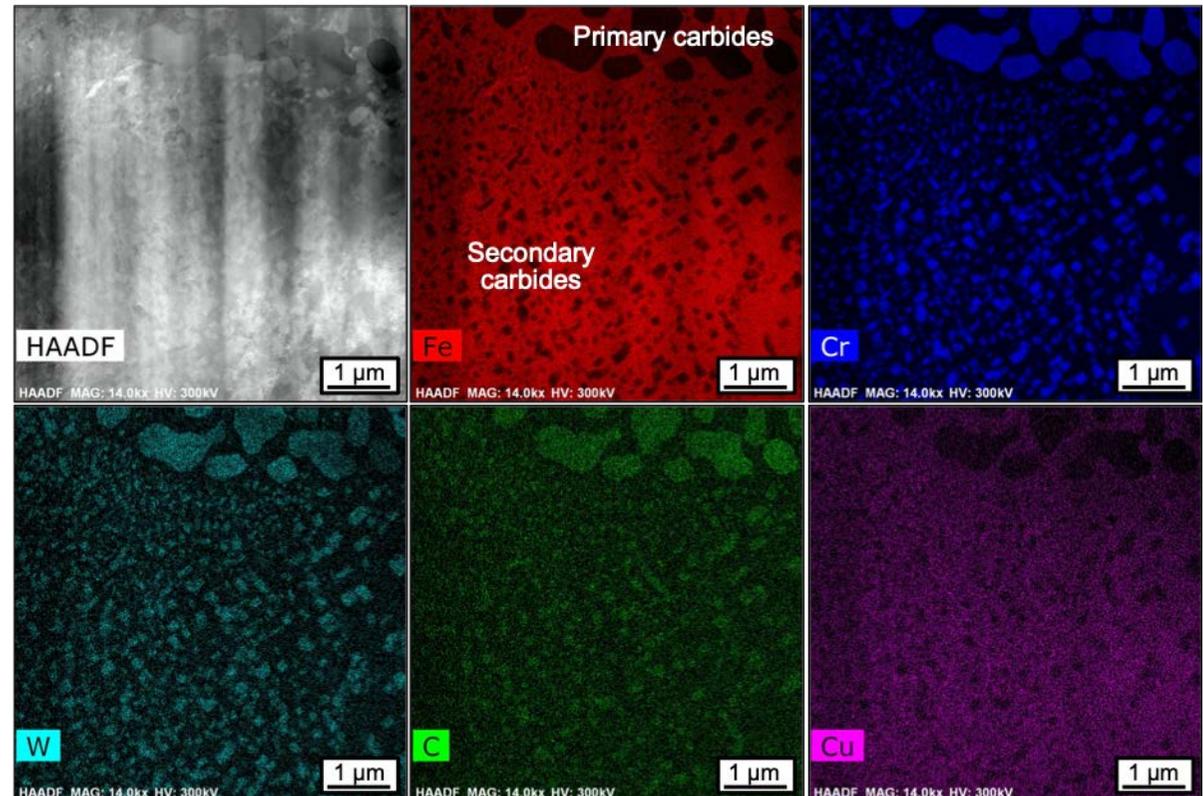
## 炭化物析出とマルテンサイト組織による高硬度化

- 焼入れ処理により微細な炭化物を含むマルテンサイト組織が形成。
- 従来材と同等以上の高硬度(>HV700)を実現。

### 硬さ測定



### STEM-EDS



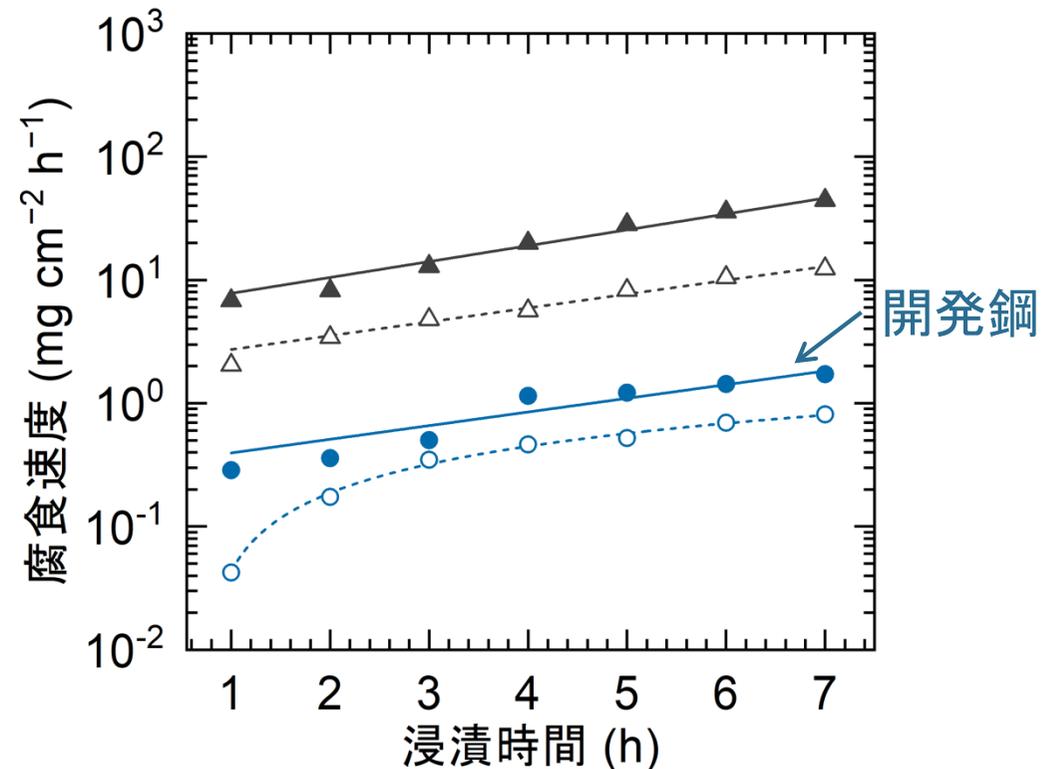
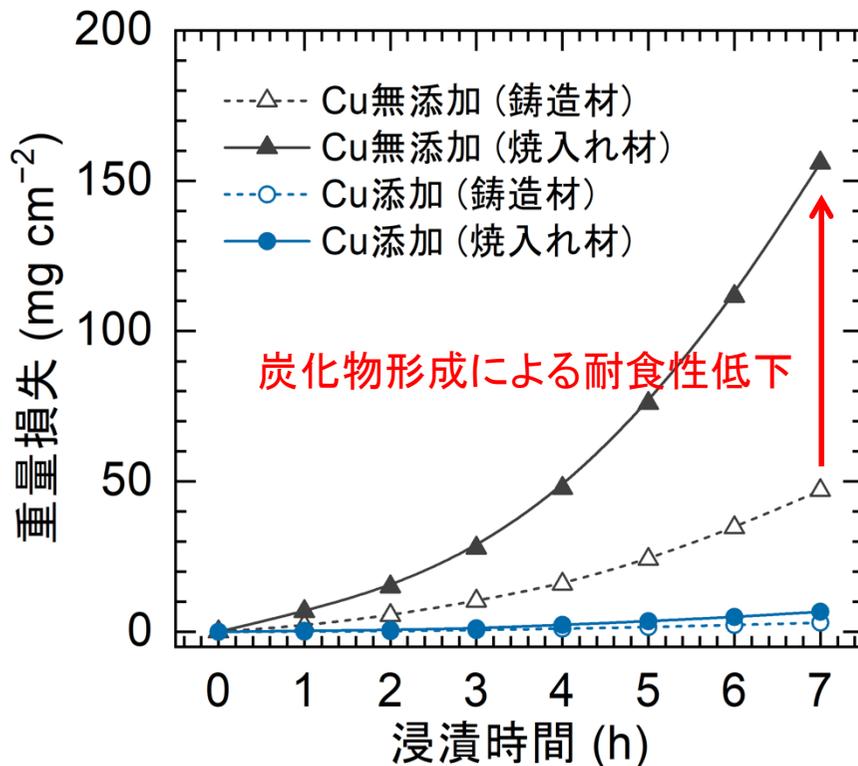
# 硫酸水溶液に対する耐食性

## Cu添加による耐食性の改善

- Cu無添加の場合には、焼入れにより耐食性が著しく劣化。
- Cu添加した開発鋼は腐食速度が1桁以上低く、優れた耐食性を示す。

### 浸漬試験による耐食性評価

0.5M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>@室温

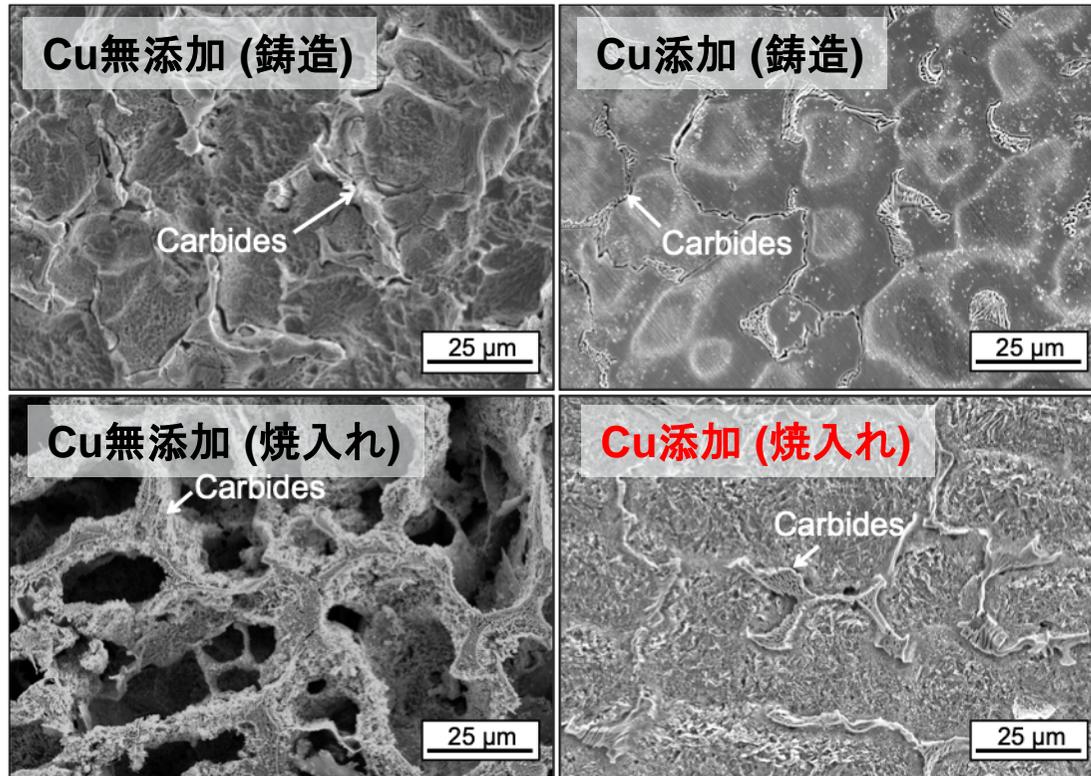


# 硫酸水溶液に対する耐食性

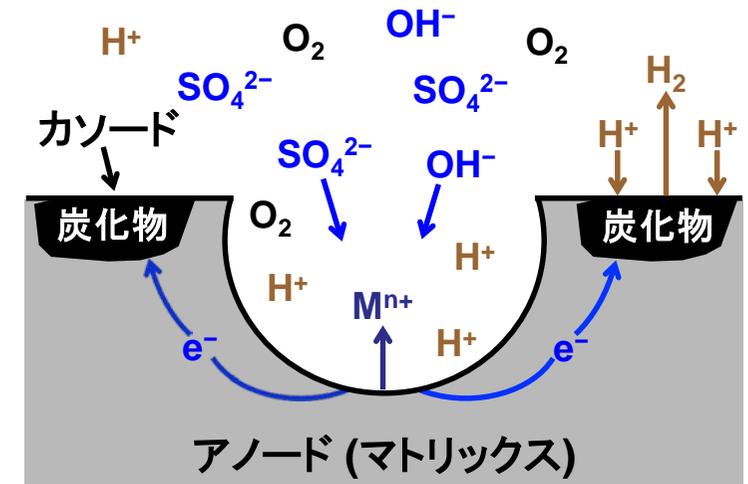
## Cu添加による耐食性の改善

- Cu無添加の場合には、焼入れにより耐食性が著しく劣化。
- Cu添加した開発鋼は腐食速度が1桁以上低く、優れた耐食性を示す。

浸漬試験後の表面観察 (7h) 0.5M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>@室温



### マイクロ腐食セル



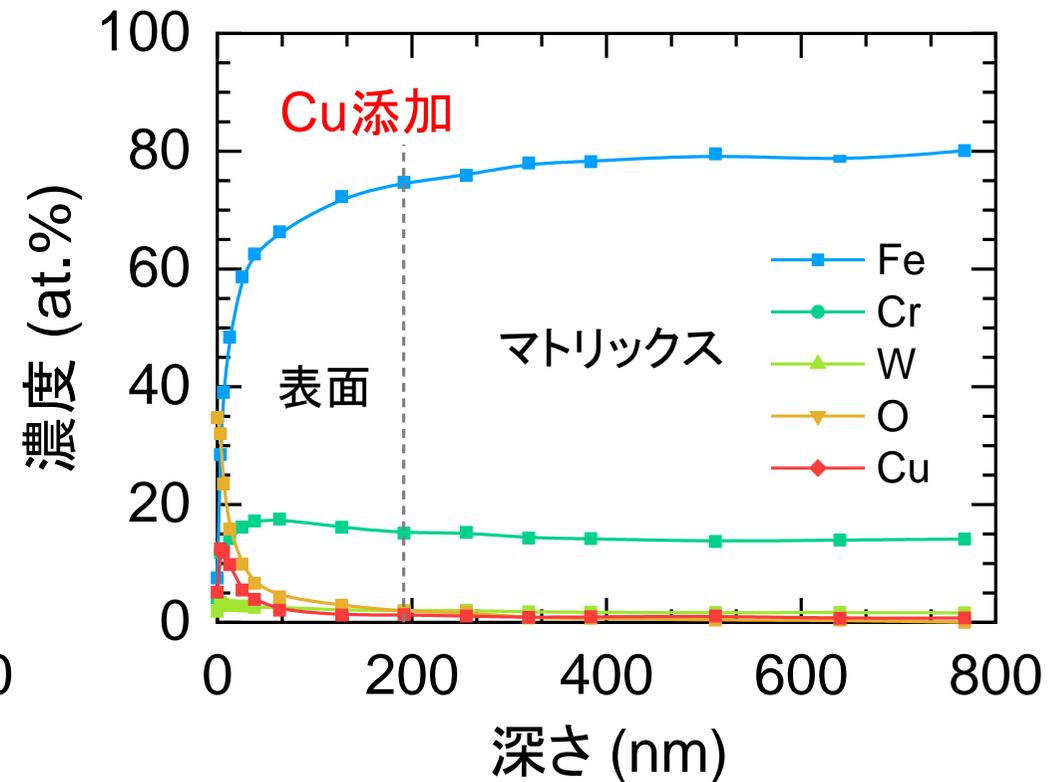
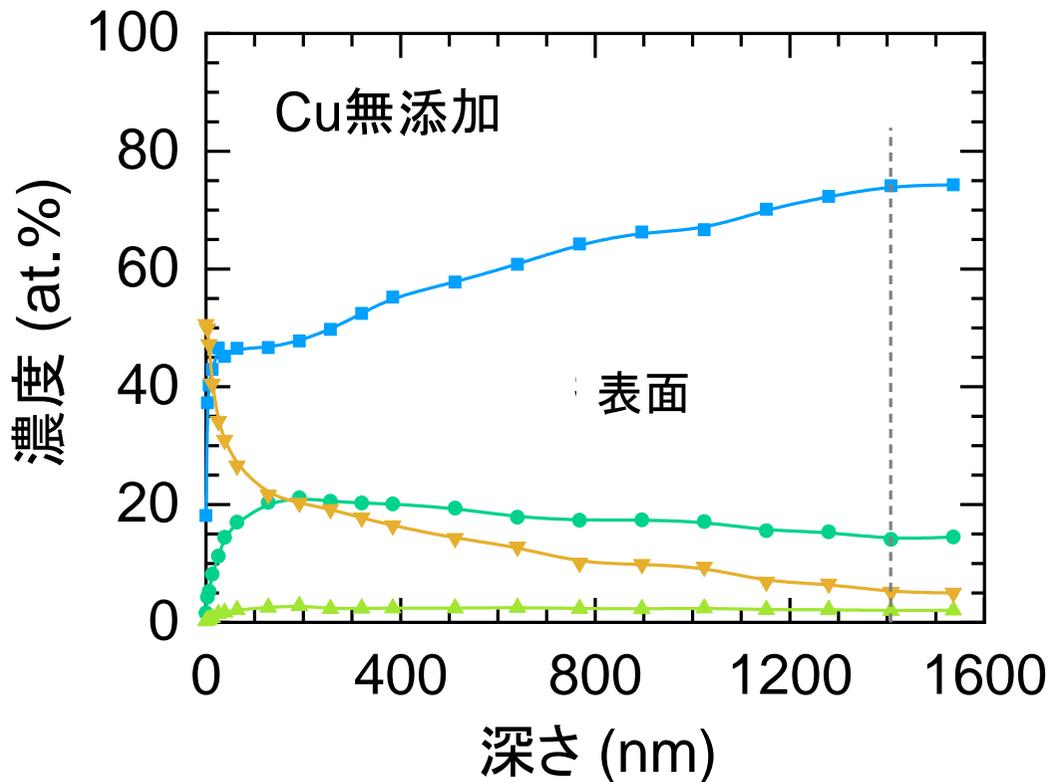
炭化物とマトリックスの電位差を駆動力とした腐食反応によりマトリックスが溶出。

# 耐食性改善のメカニズム

## Cu添加による耐食性の改善

- Cu無添加の場合では、 $\text{Cr}_2\text{O}_3$ を主体とした酸化皮膜が溶出。
- 腐食環境にて合金元素が選択的に溶出し、表面にCu濃化層が形成。

浸漬試験後のXPS分析 (1h) 0.5M  $\text{H}_2\text{SO}_4$ @室温

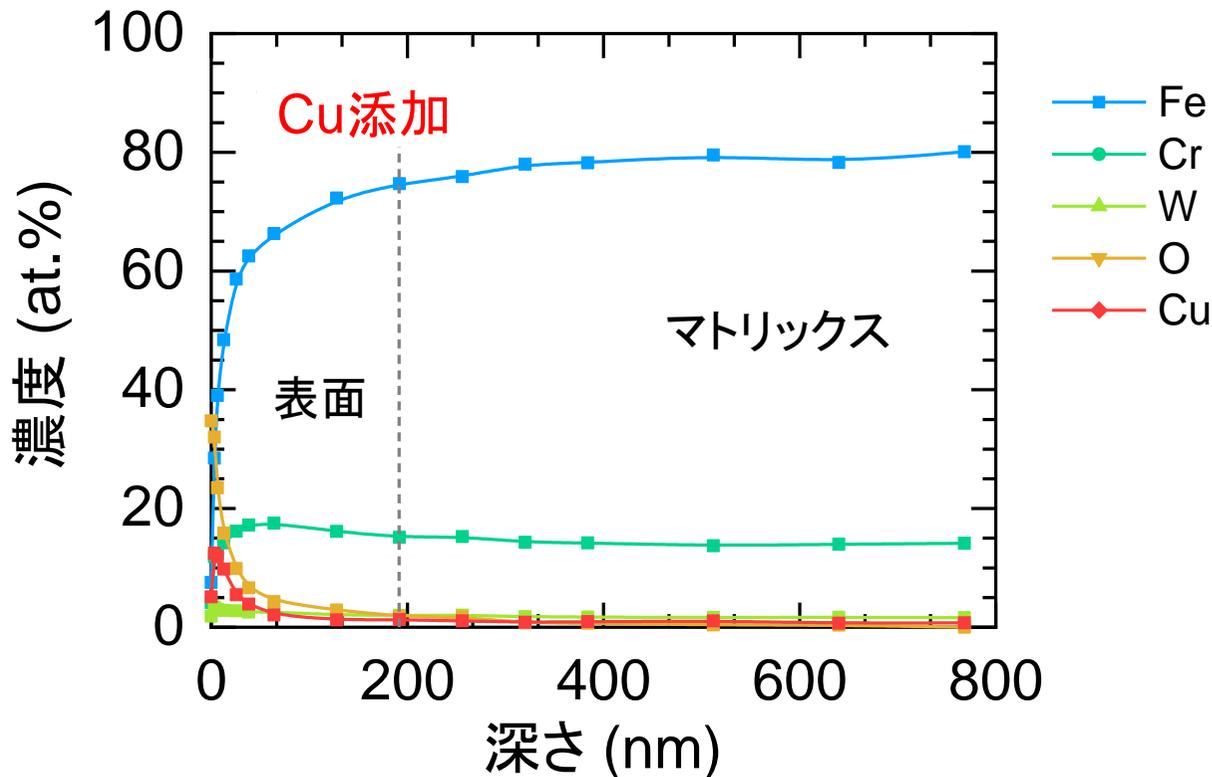


# 耐食性改善のメカニズム

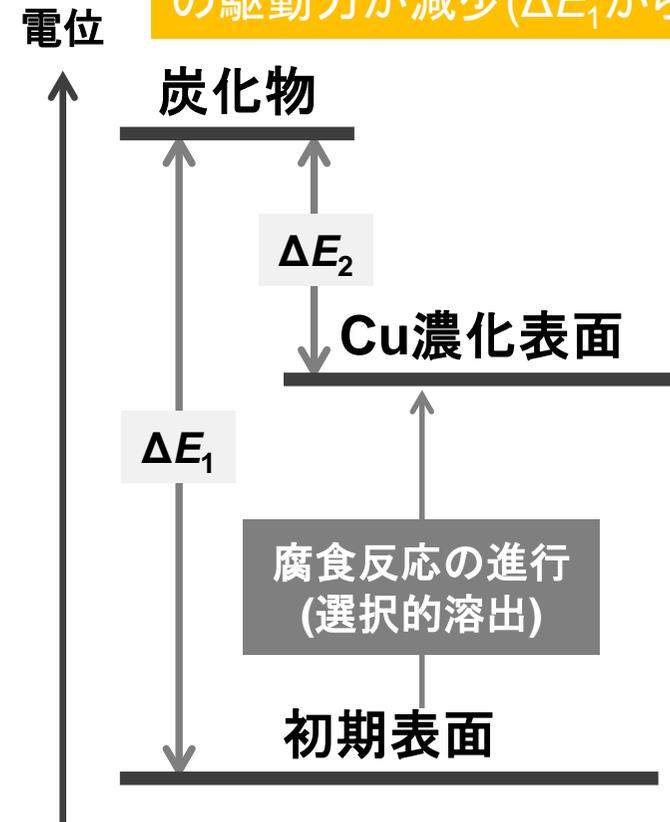
## Cu添加による耐食性の改善

- 腐食環境にて合金元素が選択的に溶出し、表面にCu濃化層が形成。
- 炭化物とマルテンサイト組織の電位差が減少し、腐食反応が抑制。

浸漬試験後のXPS分析 (1h) 0.5M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>@室温



Cu濃化層の形成により腐食反応の駆動力が減少( $\Delta E_1$ から $\Delta E_2$ )。



# 耐食性改善のメカニズム

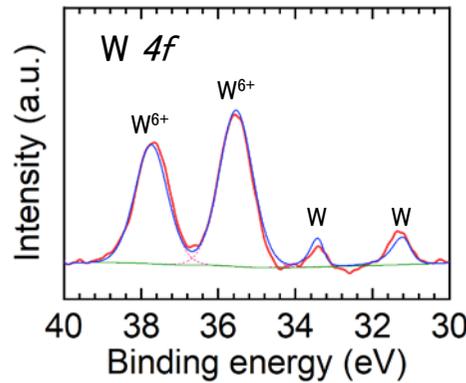
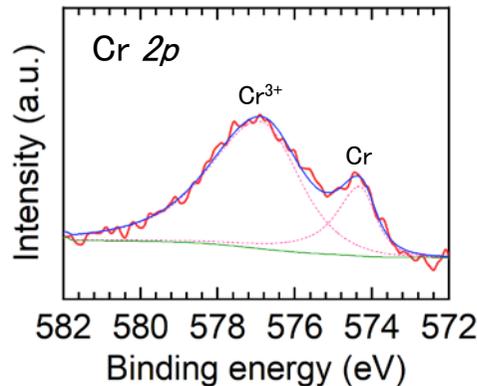
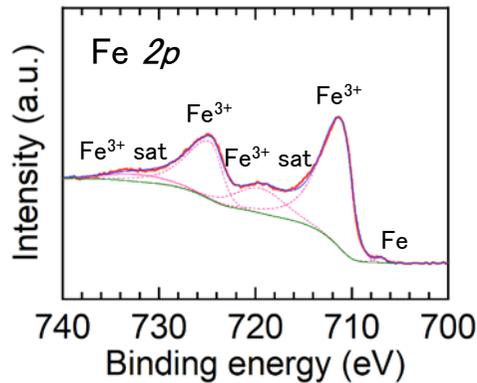
## Cu添加による耐食性の改善

- 合金表面に形成するCu濃化層は「金属」として主に存在。
- 既存の不働態皮膜形成ではない画期的な耐腐食性改善機構を見出した。

### 浸漬試験後のXPS分析 (1h)

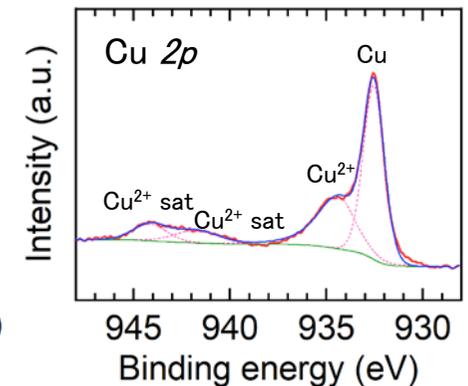
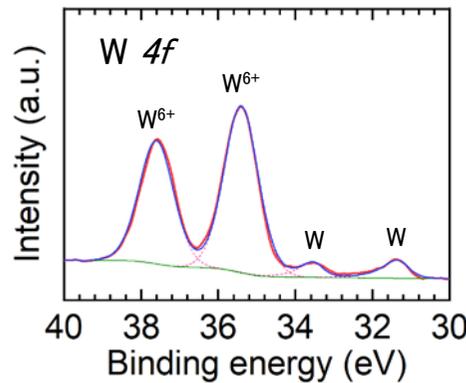
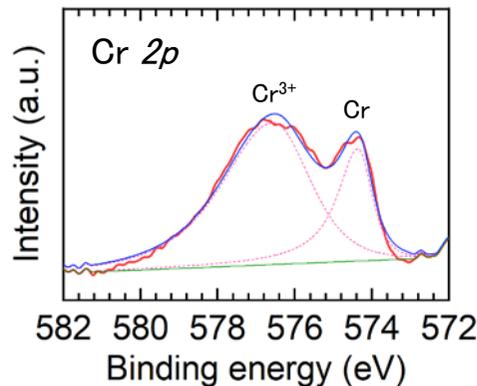
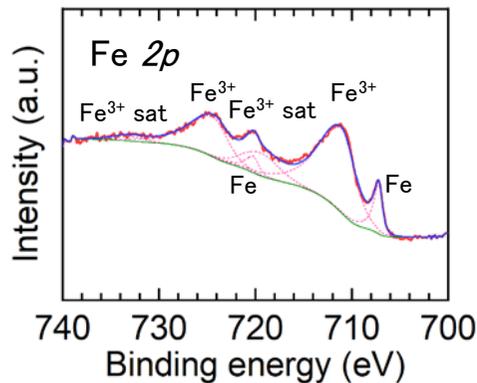
0.5M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>@室温

Cu無添加



— Data  
- - - Fit  
— Background  
— Envelop

Cu添加



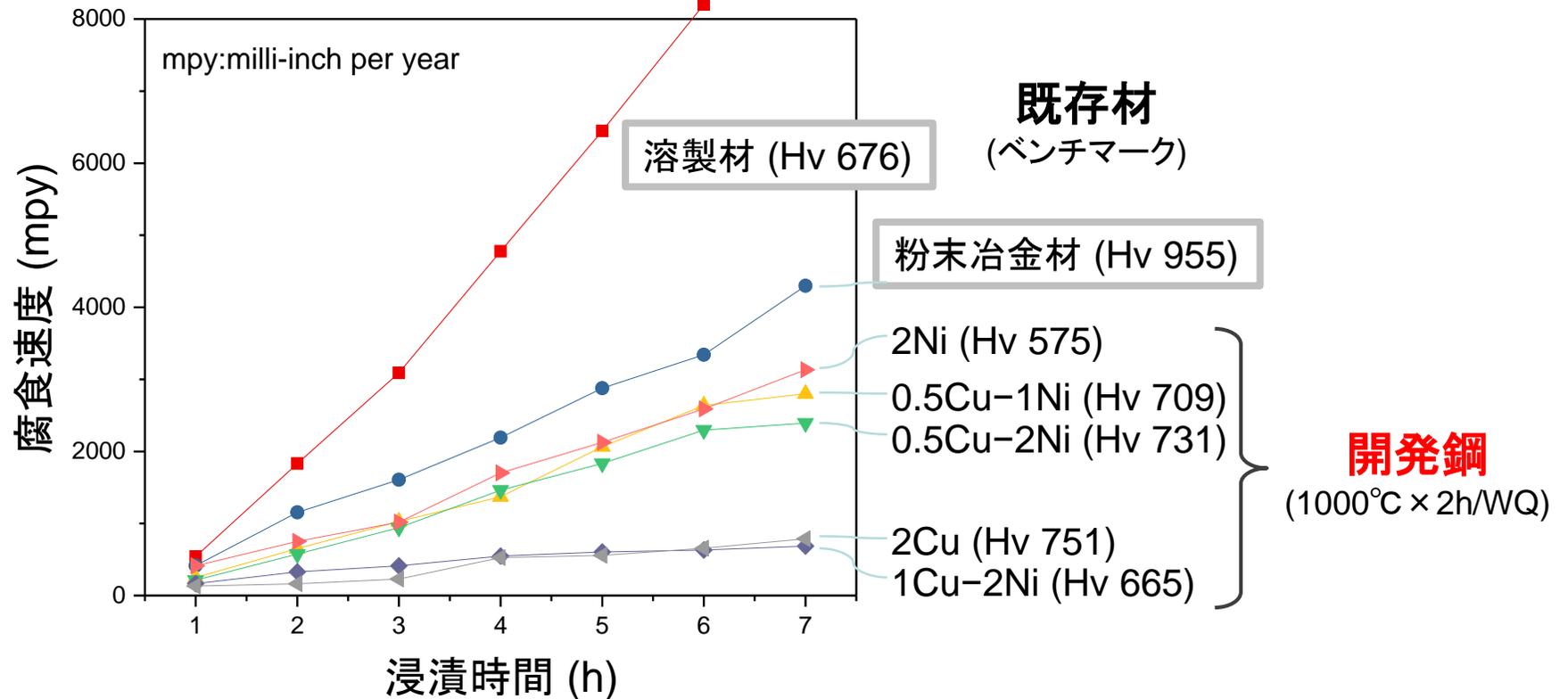
# 従来材との比較

## 硫酸水溶液に対する耐食性

- 既存の溶製材に対して、同等以上の硬度、著しい耐食性の改善。
- 粉末冶金材よりも硬度は劣るが、耐食性には優れる。
- Cuの一部をNiにより置換することも可能。

### 浸漬試験による耐食性評価

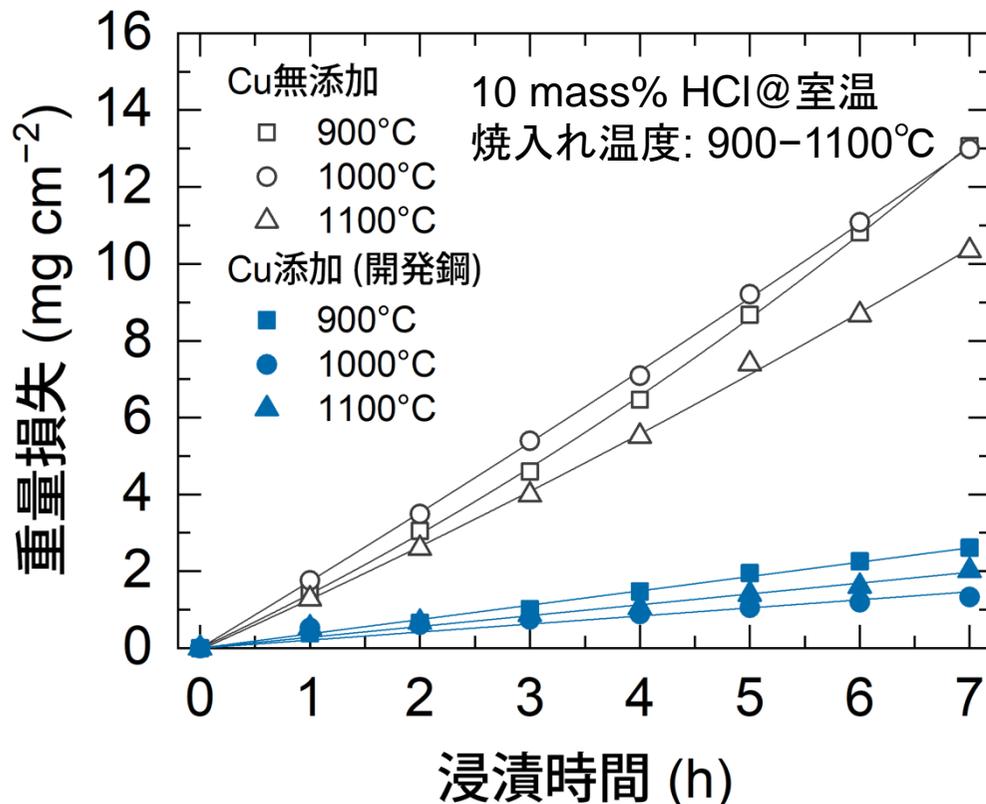
0.5M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>@室温



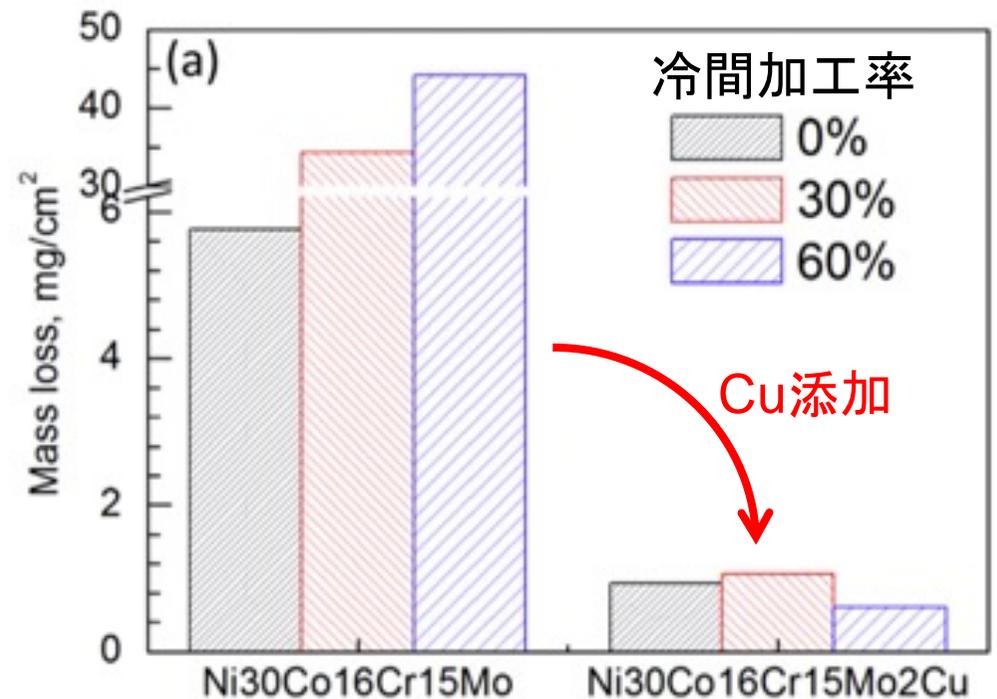
## 塩酸水溶液に対する耐食性

- 硫酸水溶液の場合と、同様にCu添加による耐食性の改善を確認。
- フッ酸水溶液など、その他の腐食環境についても評価中。

### 浸漬試験による耐食性評価



### HF水溶液に対する耐食性 (Ni基合金)\*



\*Li et al. Corros. Sci., 98 (2015)119-127.

# 想定される用途

- 本発明はGF-PPSの射出成形装置部材をターゲットにしたもので、スクリーンをはじめとした各種構成部材に応用可能。  
(JST A-STEPにて研究開発を実施)
- 既存の鋼種を置き換えることにより部材寿命が改善し、部材交換による製造ライン停止が低減され、生産性が向上。
- また、PPS樹脂だけでなく、他のスーパーエンブラへの展開も期待。
- 耐食性と耐摩耗性を両立した開発鋼は幅広い分野への応用可能。
  - 腐食環境において用いられる工具、金型、機器・装置部材
  - 分野: エネルギー、半導体、化学など

# 企業への期待

- 射出成形機部材として実機を用いた試験・評価、スクリーン用素材等への採用。
- 量産規模のスケールアップに向けた企業との連携を希望。
- 本技術は幅広い応用が期待でき、射出成形装置部材以外の用途開拓に関する共同研究も歓迎。
- 本発明にて見出した耐食性改善メカニズムは組成の異なる鉄鋼材料にも適用可能
  - 粉末冶金法を用いたハイエンド材への適用
  - 積層造形技術を用いた複雑形状部材の創製
  - 炭化物以外の強化粒子を含む鋼材の開発

# 本技術に関する知的財産権

- 発明の名称：鉄基合金および鉄基合金の製造方法
- 出願番号：PCT/JP2019/034481,108131868
- 出願人：東北大学
- 発明者：山中謙太、千葉晶彦
- 出願国：PCT、台湾

# 産学連携の経歴



- 2016年-2019年 JST A-STEP ステージⅡ (シーズ育成タイプ)に採択。  
課題名 : GF-PPS樹脂成形用部品に適合した高耐食・  
耐摩耗新合金開発
- 2018年- 金属材料加工メーカーにライセンス。
- 2019年 JST 権利化支援事業に採択、PCT/台湾出願。
- 2019年- 射出成形装置メーカーと共同研究を開始。

- その他、素材、重工、自動車、機械等の幅広い事業分野において共同研究経験多数。
- 塑性加工、粉末冶金、積層造形法等の加工プロセスを専門としており、新材料開発から実用化まで一貫した研究開発実績。

# 問合せ先

**東北大学**

**産学連携機構 総合連携推進部**

**TEL 022-795-5267 / 5274**

**FAX 022-795-5286**

**問い合わせ専用URL**

**<http://www.rpip.tohoku.ac.jp/jp/information/gijutsu/>**

**e-mail [liaison@rpip.tohoku.ac.jp](mailto:liaison@rpip.tohoku.ac.jp)**