

溶接しても超長疲労寿命な第2世代FMS合金の開発

物質・材料研究機構 構造材料研究拠点
設計・創造分野 振動制御材料グループ
グループリーダー
澤口 孝宏

2021年6月15日

従来技術とその問題点

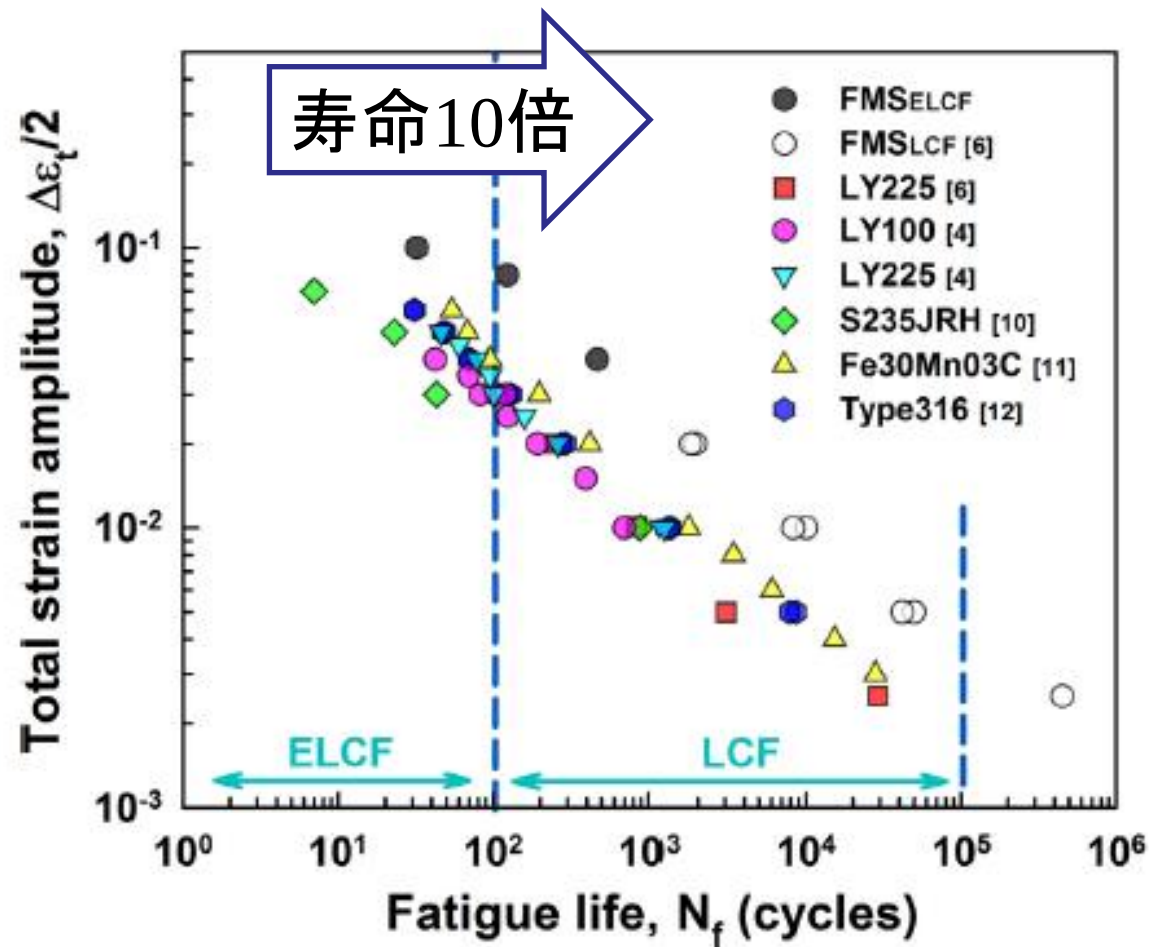
様々な制振ダンパーの性能比較

長周期・長時間地震動対応技術として認知

技術名称	鋼材 ダンパー	粘性 ダンパー	オイル ダンパー
技術概要	 低降伏点鋼の弾塑性 変形履歴を利用	 粘性体の粘性抵抗力 により揺れを低減	 オイルの粘性抵抗力に より揺れを低減
特徴	低コスト 高剛性 定期メンテ不要	エネルギー吸収範囲大 高減衰性能 高耐久性	エネルギー吸収範囲大 高減衰性能 高耐久性
課題	低疲労寿命	高コスト 低剛性 温度依存性	高コスト 低剛性

新技術の特徴・従来技術との比較

第1世代FMS合金



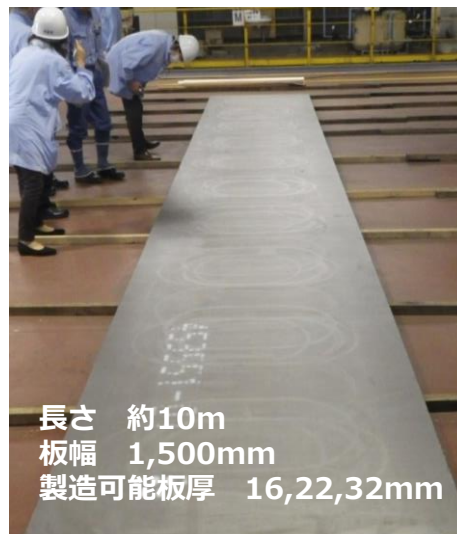
Fe-15Mn-10Cr-8Ni-4Si (wt%)

I. Nikulin, N. Nagashima, F. Yoshinaka, T. Sawaguchi, Mater. Lett. (2018).

第1世代FMS合金の関連技術と実用化実績

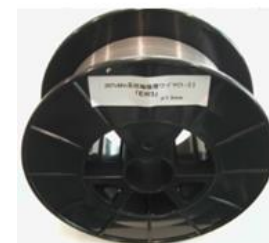


2013年、10トン級電気炉溶解と制振ダンパー心材の製造に成功



(左)60トン級連続鑄造に製造し10mの長尺圧延材を製造

長さ 約10m
板幅 1,500mm
製造可能板厚 16,22,32mm



開発溶接ワイヤ

(右)耐疲労合金と建築用鋼材との異材接合用専用溶接材料と溶接技術を開発



溶接施工試験状況



実用化第1号のせん断パネル型制振ダンパー(溶接なし)を、2014年、JPタワー名古屋に実装



接合部を炭素鋼との異材接合により十字断面補強した、溶接構造ブレース型制振ダンパー(写真左)を開発し、2018年、愛知県国際展示場Aichi Sky Expo(写真右)に実装



第1世代FMS合金の問題点

既に実用化されている制振ダンパー用耐疲労鋼：
第1世代FMS合金

- 👍 従来鋼材の10倍の塑性疲労寿命
- 👎 同材溶接では、凝固割れ感受性が高い
- 👎 同材溶接を用いて断面十字にダンパー心材を溶接すると、溶接部の短い疲労寿命(※)で製品寿命が決まる。

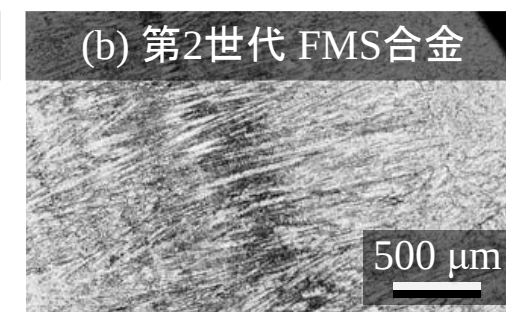
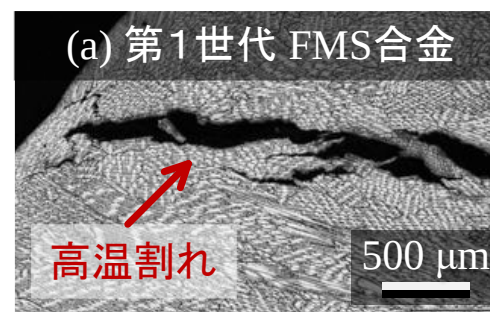
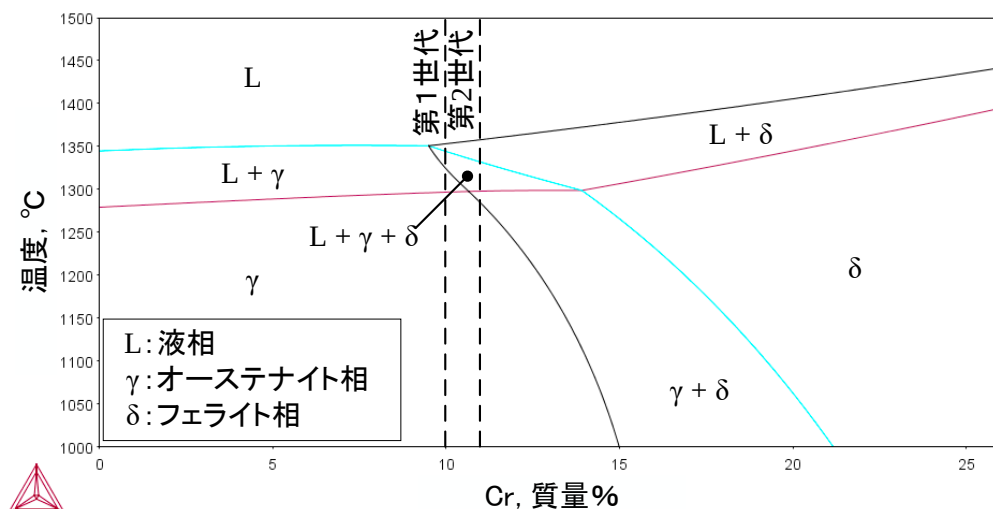
※従来鋼でも溶接部の疲労寿命は同様に低下するので、溶接構造FMS合金制振ダンパーの優位性はある。しかし、本研究ではさらに上を目指し、溶接部でも素材と同レベルの疲労寿命を実現することを目的として研究を進めてきた。

新技術の特徴・従来技術との比較

- 従来技術の問題点であった、凝固割れ感受性を改良した第2世代FMS合金を開発
- 第1世代は溶接欠陥発生への懸念から、溶接は変形部の小さい箇所の異材溶接のみに限定するか、疲労変形部では凝固割れ発生に細心の注意を払って同材溶接を行い、素材寿命に対する溶接部疲労寿命の低下幅を極力おさえていたが、溶接部疲労寿命は素材疲労寿命が低下することは避けられなかった。（ただし、従来鋼材の溶接部疲労寿命に対しては約10倍の高い値を示す。）
- 第2世代FMS合金では素材の凝固割れ感受性低下により、疲労変形部の同材溶接が容易になり、溶接部疲労寿命を第1世代FMS合金の2倍に高めた。

新技術の特徴・従来技術との比較

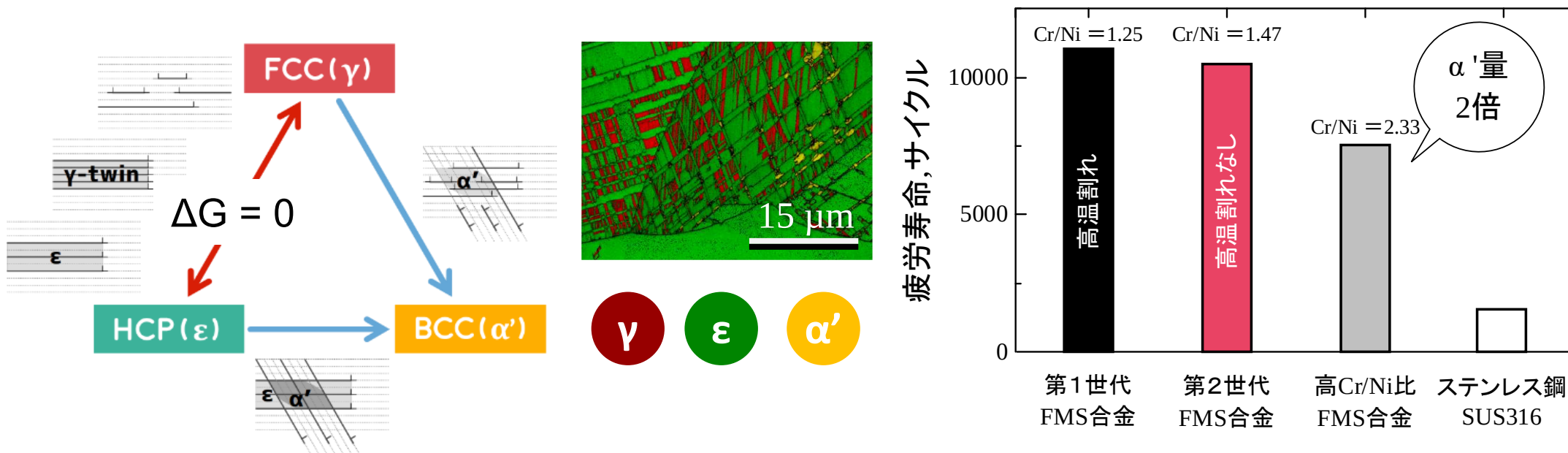
2020.05.12.18.05.26
TCFE9: CR, FE, MN, NI, SI
N=1, P=1.01325E5, W(MN)=0.15, W(SI)=4E-2, W(CR)+2*W(NI)=0.26



左. 状態図計算: Cr量(=Cr/Ni比)の増加に伴う凝固モード変化を計算。わずかなCr/Ni比増加で凝固モードが変化することを予測。

右 溶接実験結果: 計算予測結果に基づき製造した第2世代合金では高温割れ感受性が改善され、第1世代で問題となっていた高温割れが生じない。

新技術の特徴・従来技術との比較



左. 超長寿命メカニズムと疲労組織: 変形に誘起される $\gamma \leftrightarrow \epsilon$ 間の可逆的相変態により疲労損傷吸収。 α' の発生は可逆性を損なう。

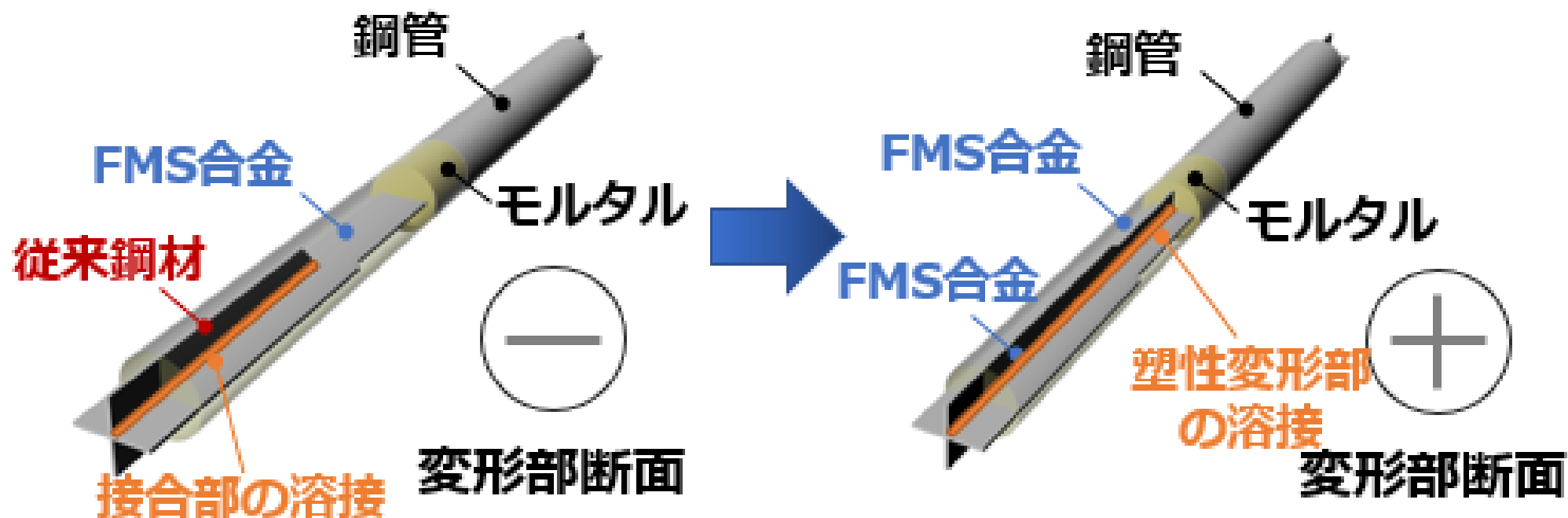
右 疲労試験結果: 第2世代合金は第1世代合金と同等の超長疲労寿命。Crを増やしすぎると α' により寿命が低下する傾向。

想定される用途

第1世代合金と設計指針の展開

- 高層ビルや大規模建築構造物以外の構造物、橋梁、高架等社会インフラ、石油化学プラント等産業インフラ、住宅などの制振ダンパー心材。
- その他、大変形の繰り返しに対する耐久性が要求される部材。
- 医療用合金（Co-Ni基合金への設計指針適用による）
- 耐熱合金（Co-Ni基合金への設計指針適用による）

想定される用途 新開発の第2世代FMS合金



- 疲労変形部も溶接組立して高耐力化する場合、第1世代FMS合金では高い溶接技術と厳密な施工管理が必要であったが、第2世代FMS合金では溶接が容易になり、ダンパーの疲労寿命も期待される。

実用化に向けた課題

第2世代FMS合金

- 10kgのラボ材実験結果であり、製造実機による大規模鋼材製造実績がまだない。
- 現在、共金ワイヤにより同材溶接した場合、溶接金属の寿命が第1世代FMS合金の2倍（素材疲労寿命の1／2）まで実験で確認済み。制振ダンパーの疲労寿命は未確認である。
- 溶接技術の開発により、素材疲労寿命にさらに近づけることが可能と期待される。
- 実用化に向けて、JSTのA-STEP事業でNIMS溶接接合技術グループと株式会社竹中工務店が、溶接構造化、実大サイズ制振ダンパーの開発を2020年12月に開始している。

企業への期待

- 第1世代FMS合金について、溶接なし、または異材溶接のみで製造可能な制振ダンパーの開発に関心がある企業へのライセンス供与を希望。
- また、第2世代FMS合金について、橋梁等土木分野など、建築分野以外への適用に関心がある企業の、現行共同研究への参画・連携を希望。
- 今後さらに、耐食性を高め、低コスト化させて、より実用化に適した第3世代FMS合金の開発を目指している（NEDO先導研究事業に最近採択され今年度中開始予定）。素材製造、制振ダンパー製造、制振ダンパーの社会・産業インフラ構造物への摘要に関心がある企業との連携を希望。

企業への期待2

- 従来比10倍の超長疲労寿命を実現するFMS合金の設計指針は、FCC→HCPマルテンサイト変態する合金系であれば、鉄系以外にも適用可能であることをCo-Ni-Si系やCo-Ni-Cr-Mo系で実証済みであり、この成果を発展させて、医療用合金、耐熱合金の開発に関心がある企業との新規共同研究を希望。

本技術に関する知的財産権 第1世代FMS合金

- 発明の名称 : 制振合金
- 特許番号 : 特許第6182725号
- 出願番号 : 特願2012-287955
- 出願人 : 独立行政法人物質・材料研究機構, 株式会社
竹中工務店, 淡路マテリア株式会社
- 発明者 : 澤口孝宏, 櫻谷和之, 小川一行, 長島伸夫, 古
谷佳之, 関戸信彰, 小林覚, 中村照美, 西村俊弥, 津崎兼彰, 櫛部淳
道, 井上泰彦, 菅田昌宏, 丸山忠克, 杉村誠一, 千葉悠矢

企業との共同特許ですが、国プロの成果であり、同業他社へのライセンスにも原則応じる(事前相談は必要)ことについて共同発明機関の同意が得られております。

本技術に関する知的財産権 第1世代FMS合金鑄造材

- 発明の名称: 低サイクル疲労特性に優れるFe-Mn-Si系合金鑄造材
- 特許番号 : 特許第6887642号
- 出願番号 : 特願2017-074517
- 出願人 : 国立研究開発法人物質・材料研究機構, 株式会社竹中工務店, 淡路マテリア株式会社
- 発明者 : 澤口孝宏, 高森晋, 大澤嘉昭, 櫻谷和之, 櫛部淳道, 井上泰彦, 梅村建次, 大塚広明, 千葉悠矢, 坂井裕美

企業との共同特許ですが、国プロの成果であり、同業他社へのライセンスにも原則応じる(事前相談は必要)ことについて共同発明機関の同意が得られております。

本技術に関する知的財産権

第2世代FMS合金

- 発明の名称: 溶接構造体及びこれに用いられるFe-Mn-Cr-Ni-Si系合金
- 出願番号 : PCT/JP2021/016266
- 出願人 : 国立研究開発法人物質・材料研究機構, 株式会社竹中工務店
- 発明者 : 澤口孝宏, 中村照美, 荒金吾郎, 高森晋, 吉中奎貴, 櫛部淳道, 井上泰彦, 本村達, 大須賀史郎

企業との共同特許ですが、国プロの成果であり、同業他社へのライセンスにも原則応じる(事前相談は必要)ことについて共同発明機関の同意が得られております。

産学連携の経歴

- 2006年 株式会社竹中工務店との共同研究を開始
- 2008年 淡路マテリア株式会社との共同研究を開始
- 2012年 第1世代FMS合金開発
日本高周波鋼業株式会社が10トン級電気炉溶解に成功
- 2013年 淡路マテリア株式会社がせん断パネル型制振ダンパー製造
国土交通大臣材料認定取得（物件限定）
- 2014年 株式会社竹中工務店がJPタワー名古屋に第1号ダンパー施工
- 2016年 第1世代FMS合金の異材溶接技術開発
- 2017年 第1世代FMS合金の60トン級連続鑄造に成功
- 2017年 淡路マテリア株式会社が溶接構造制振ダンパー製造
- 2017年 FMS合金および同合金用溶接材料の国土交通大臣認定取得（物件限定）
- 2018年 株式会社竹中工務店がAichi Sky Expoに第2号ダンパー施工
- 2020年 第2世代FMS合金開発
竹中工務店－NIMS共同研究に関するJST A-STEP事業開始。

お問い合わせ先

国立研究開発法人物質・材料研究機構 外部連携部門 企業連携室

企業様向け総合窓口HP（スマホ対応）

<https://technology-transfer.nims.go.jp/>



企業様向けの相談窓口です。各種お問い合わせ・ご相談などお気軽にご連絡ください。



基礎研究を社会へつなげる

— 企業様向け総合窓口 —

NIMSでは「**使われてこそ材料**」の理念の具現化を目指し、独創性の高い基礎研究に基づいてNIMSの技術を産業界へ橋渡しする活動を行っています。

- ・ニーズ・シーズマッチングのためにNIMS研究成果を知って頂く「**技術情報循環の場**」（“NIMSの研究を知る”へ）
- ・NIMSの技術を産業界とともに発展させる「**共同研究の場**」（“NIMSと連携する”へ）

を設け、特許ライセンスや技術指導、共同研究などを通して実用化に向けて取り組んでいます。

NIMSと連携する

装置利用/技術提供(業務実施・技術指導)
/研究試料貸与/実施許諾/共同研究

NIMSの研究を知る

展示会でのポスターデータ等

