

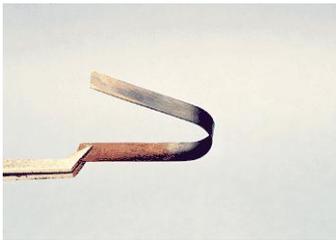
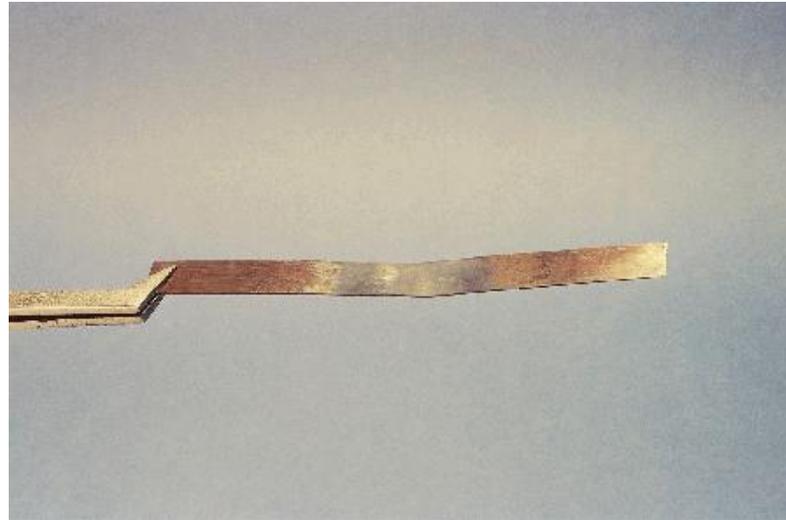
鉄系形状記憶合金の開発とプロセス技術

2011年12月9日

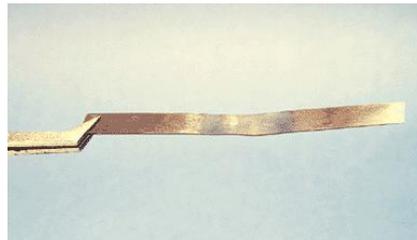
淡路マテリア(株) 開発グループ 丸山忠克

鉄系形状記憶合金(SMA)

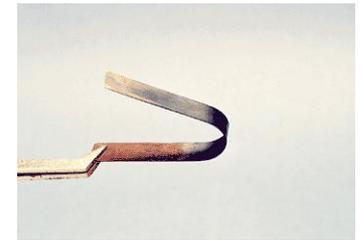
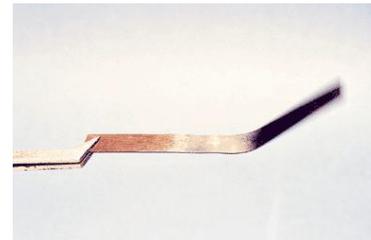
Fe-28Mn-6Si-5Cr



① 記憶形状



② 室温で変形付与



③ 加熱による形状回復

1960年 八幡製鉄(株)(現新日本製鐵)入社
東京研究所(基礎研究所)勤務

10年先のための研究

純鉄の研究

(物理的手法による純度判定)

コントロールドローリング

→オンライン材質判定



1977年 八幡製鉄所シームレス鋼管部に転勤、後 技術部

シームレス圧延制御モデル開発

シームレス合金鋼鋼管の開発

1987年 先端技術研究所(旧東京研究所)に転勤

鉄系SMAの開発と商品化

半導体実装技術開発(ボールバンプ方式)

1993年 淡路産業(株)(現淡路マテリア)に転出 現在に至る

鉄系SMAの商品化

鉄系SMAの開発の流れ

新材料の発明(東京工業大学)

1982年

- ① 形状記憶効果を示す鉄系単結晶合金の発明

材料開発段階(東京工業大学→新日本製鐵)

1982~1993年

- ① 形状記憶効果が発現するメカニズムの解明
- ② 多結晶での形状記憶効果の発現
- ③ 最適な組成範囲の決定
- ④ 製造プロセス条件(溶解、熱間加工、熱処理など)の検討
- ⑤ 材質特性(強度、延性、耐食性、溶接性など)の把握

実用化の検討(新日本製鐵→淡路マテリア)

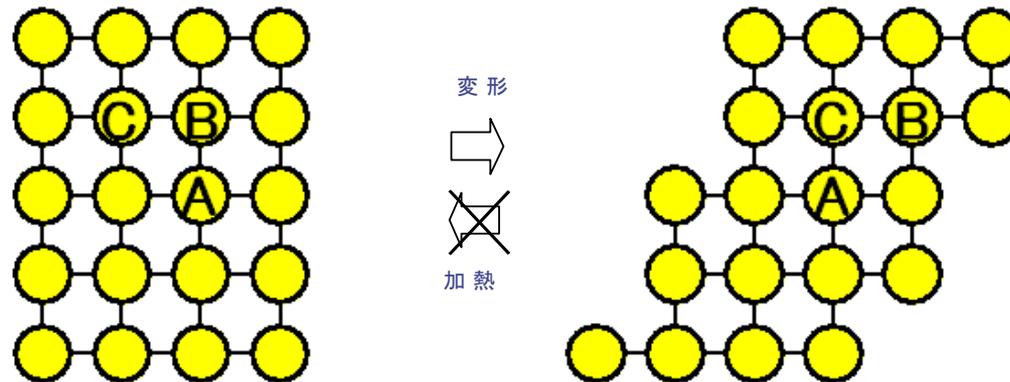
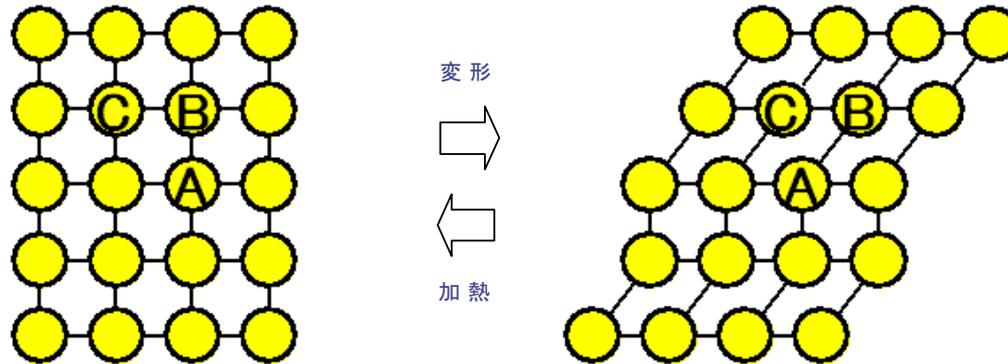
1985~

- ① 用途開発(新材料が役に立つニーズの探索)
- ② 試作品の製作
- ③ 試作品の自社評価
- ④ 試作品のユーザー評価
- ⑤ 商品化(量の段階的増加とそれに見合うプロセスの確保)

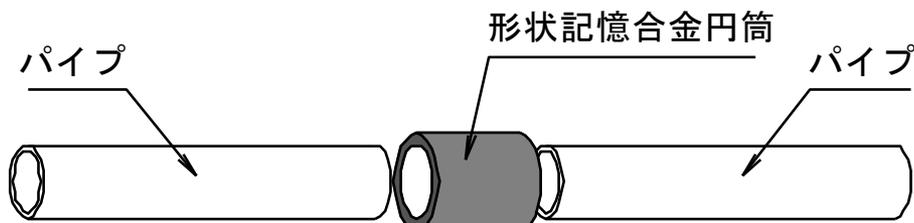
淡路マテリア(株)の沿革と鉄系SMAの取組

- 1944年 淡路重工株式会社設立
- 1945年 (社名変更)淡路産業株式会社
- 1952年 鑄鉄製管継手生産開始
- 1971年 鋼製溶接式継手生産開始
- 1987年 **アワジサンギョウタイランド設立**(継手生産をタイに移行)
- 1993年 **SMAの製品化を新日鉄から引き継ぐ**
- 2003年 **金沢涌波トンネル工事でSMA継手採用**
- 2004年 **クレーンレール用SMA継目板の製品化**
- 2006年 (社名変更)淡路マテリア株式会社
- 2010年 **SMAを利用したユビキタス超電導磁石の開発に着手**
- 2011年 **SMAを利用した制震ダンパーの開発に着手**

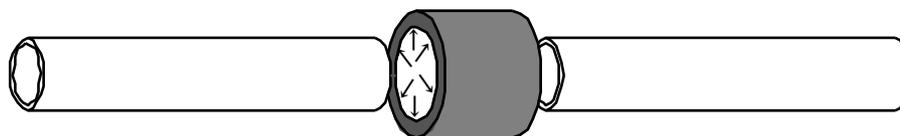
鉄系SMAの形状記憶効果発現機構



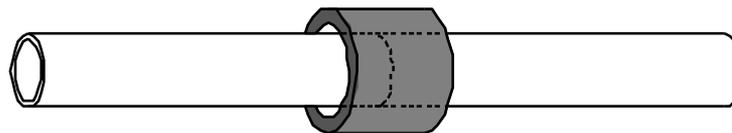
鉄系SMAによるパイプの接続



(A) 接続する相手パイプとそれより内径が細い形状記憶合金円筒



(B) 形状記憶合金円筒の拡張



(C) 形状記憶合金円筒へのパイプ差し込み



(D) 加熱により形状記憶合金円筒が収縮し接続完了

鉄系SMA製造上の課題

組成 Fe-28Mn-6Si-5Cr-0.01C

(1) 原料 Mnは電解マンガン、他も純金属原料

(2) 溶解 真空(または大気)誘導溶解炉

- ・マンガンヒュームが発生
- ・耐火物の損傷が早い
- ・大型鑄型は抜けにくい

(3) 熱間加工 融点が高いのに変形抵抗が高い

- ・ミミ割れが発生しやすい
- ・高速加工の発熱で偏析部が溶ける
- ・大型部材の試作ができない
- ・「熱押し」や「遠心鑄造」の活用

応用分野の変遷 (鉄系SMAの発明；1982年)

チタンニッケル代替
～1985年

- 安全装置(センサーアクチュエータ)



小型接続部材
～2000年

- ステンレス配管用継手
- スポーツ用自転車のフレーム接続
- 固体潤滑すべり軸受け外筒



大型構造部材
および特殊部材
1996年～

- 鋼管柱用継手
- トンネル工事用曲線鋼管用継手
- クレーンレール用継目板
- 超電導バルク材料の補強



将来 2008年～

- 形状記憶合金以外の用途への展開

小型部材への応用例



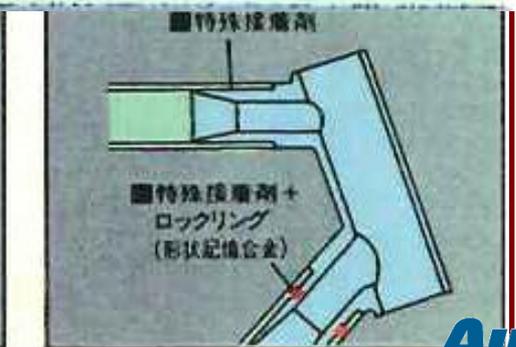
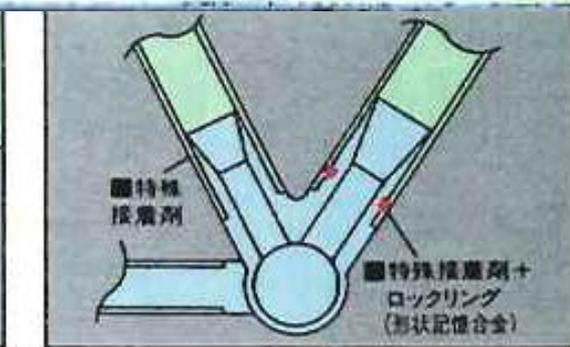
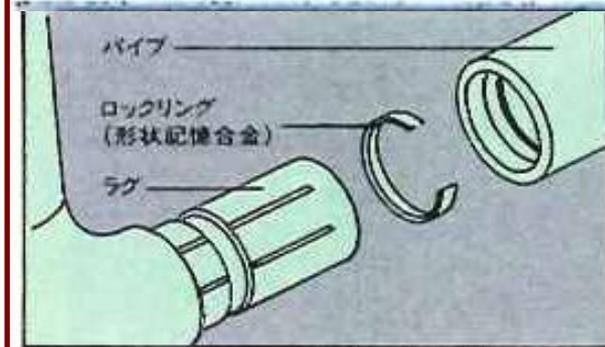
種類	価格	保管／接続作業	用途
Ti-Ni	高	低温／加熱不要	軍用
鉄系	安	室温／加熱要	民生用



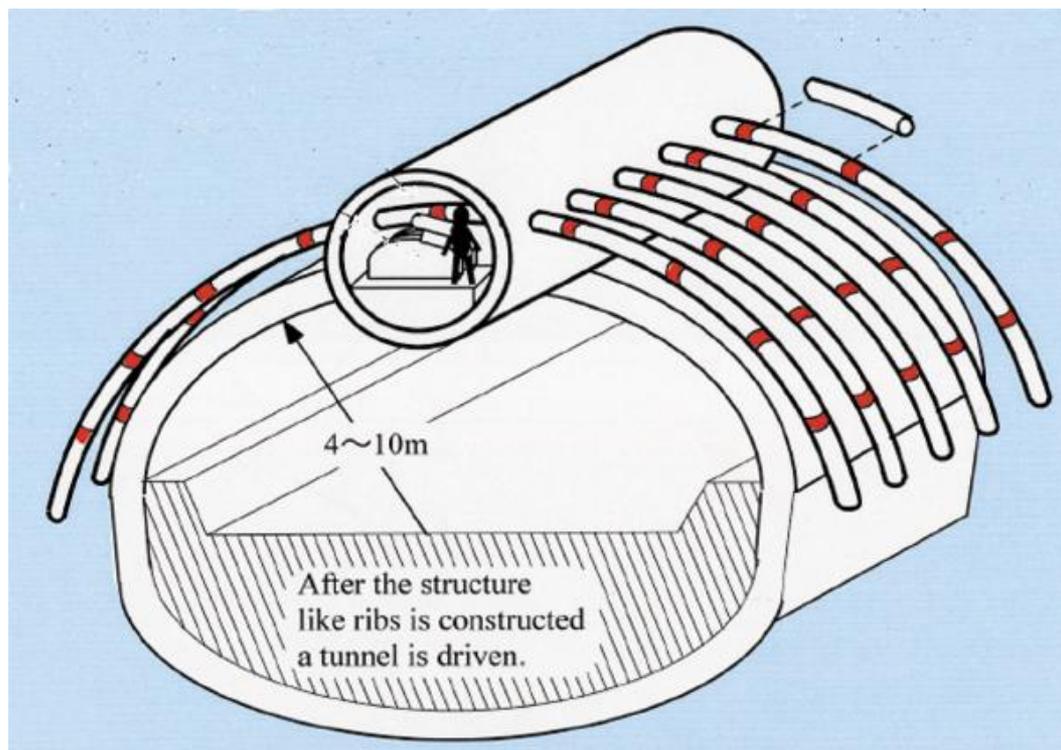
固体潤滑材製リングの破損防止用外筒
(脆い粉末成形品)

高温・真空用オイルレス滑り軸受け

スポーツ用自転車のフレームの継手



曲線パイプルーフ工法における曲線パイプの接続



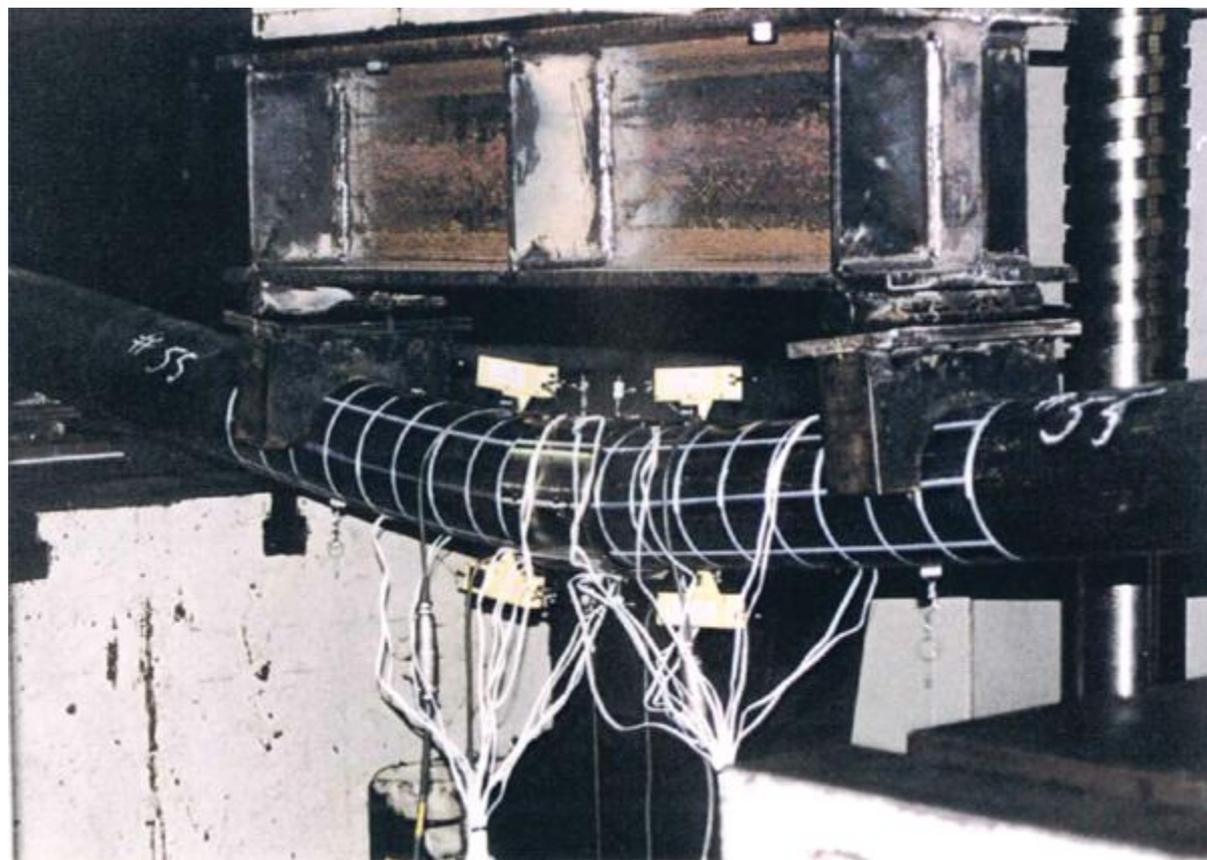
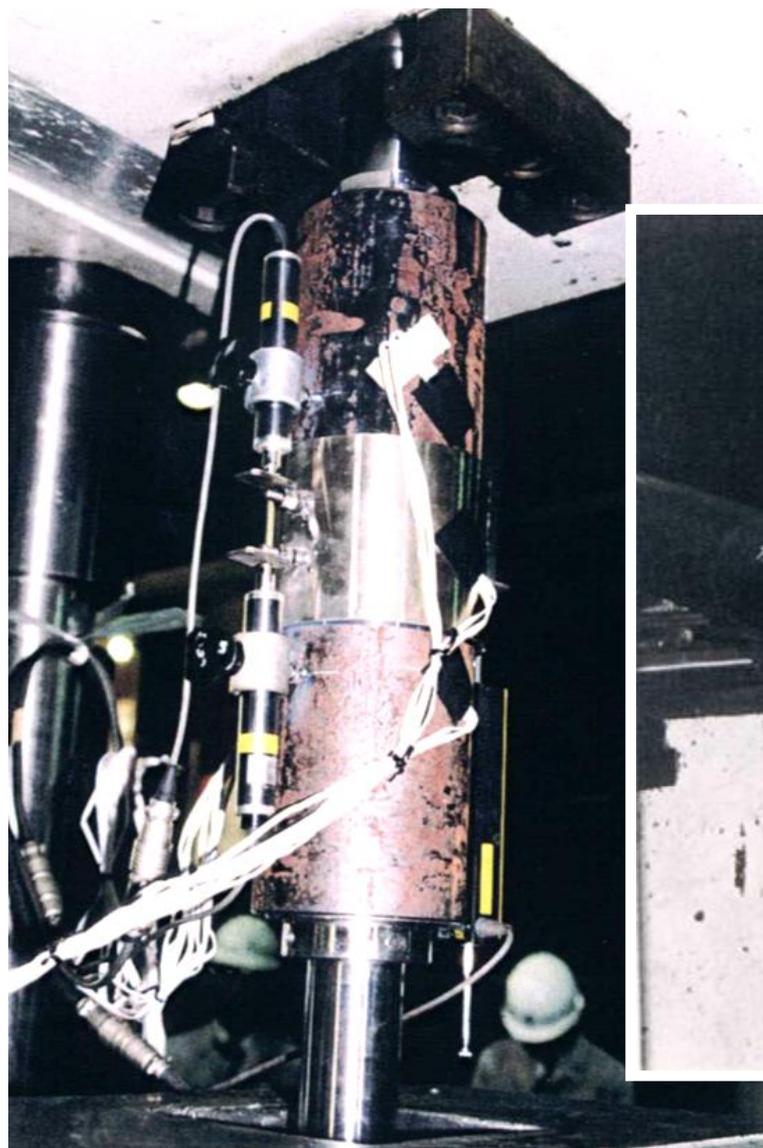
- (1)閉鎖空間内作業
- (2)作業スペースが狭い
- (3)曲線パイプの接続時間が工法全体の能率を決める
- (4)曲線パイプルーフはトンネル完成までの仮設構造



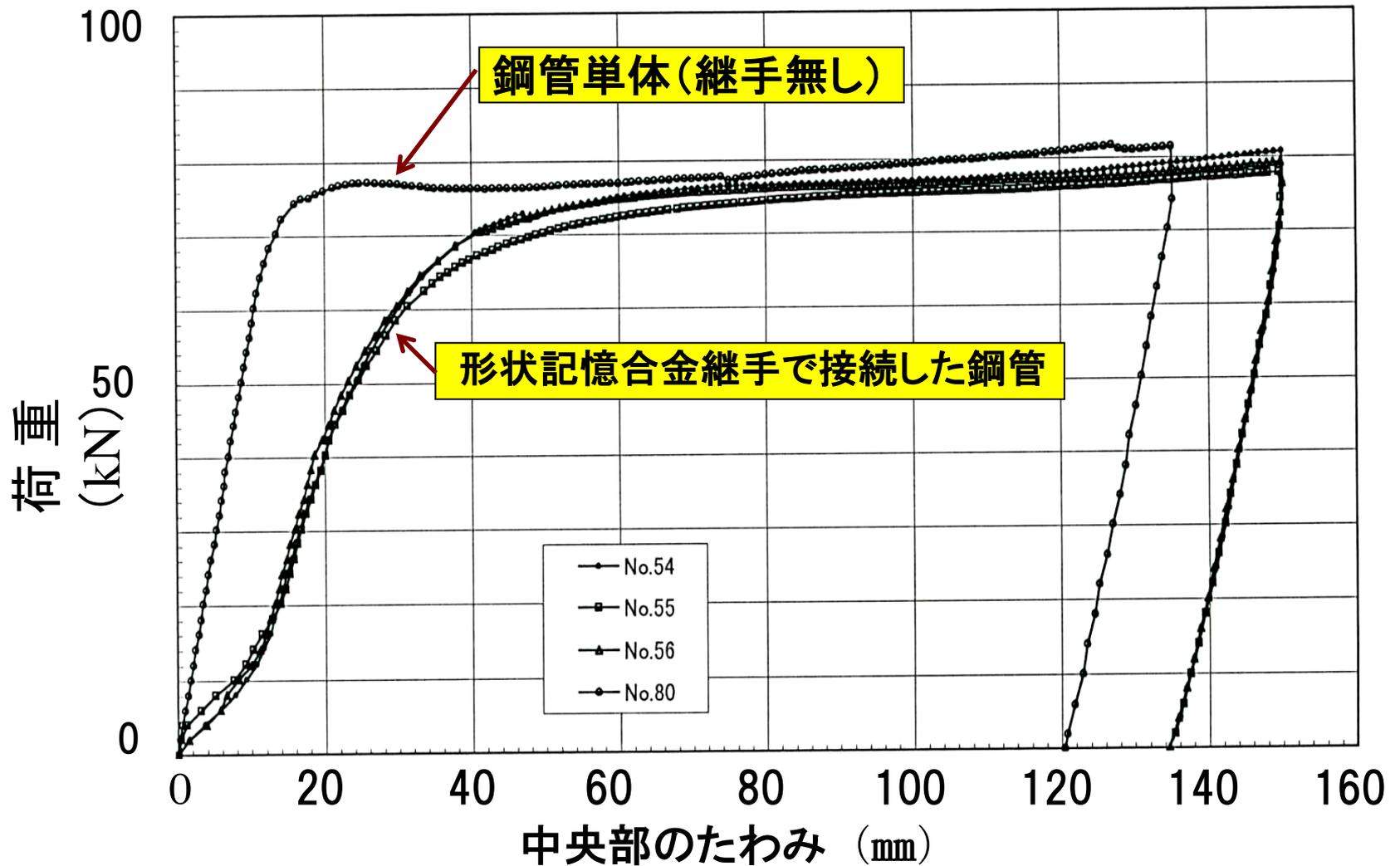


遠心鑄造製のSMA素材と拡径

引張試験と曲げ試験(パイプサイズ:100A)



四点曲げ試験結果 (パイプサイズ:100A)



曲線パイプ接続用途でのSMA継手の活用のための現場試験(250A)



鉄系SMA継手による曲線パイプの施工(金沢涌波トンネル)

(1) セツティング



(2) 加熱中



(3) 締結終了



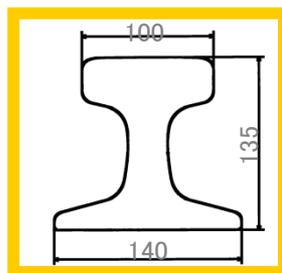
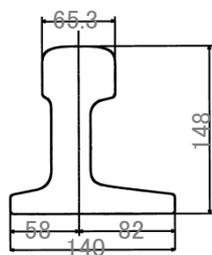
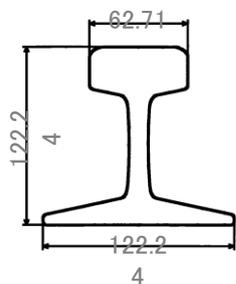
(4) 推進中



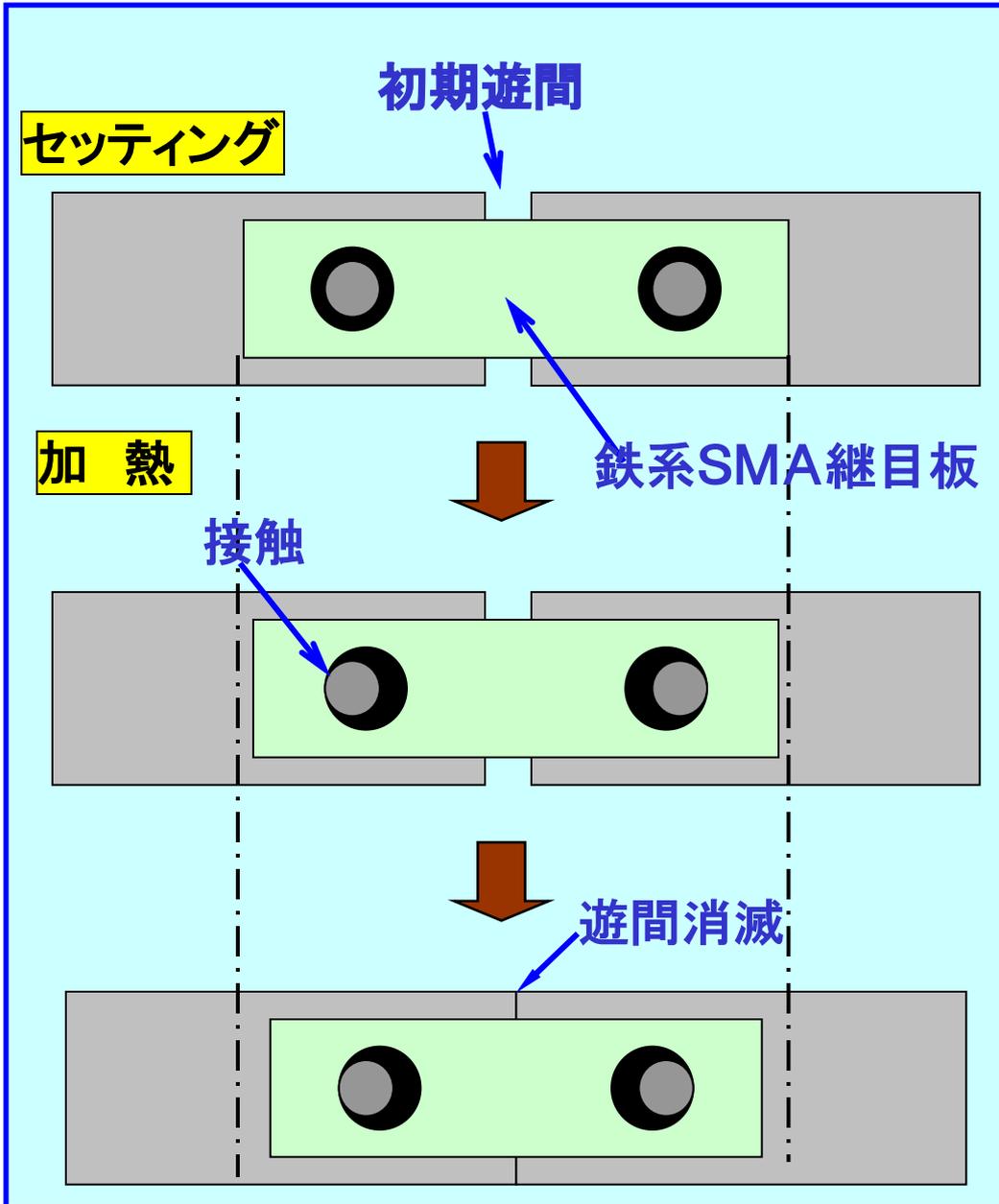
大型クレーンレール用の鉄系SMA継目板



- (1) 鉄道より重量物が通過する
▶ **遊間**があると局部摩耗やレール端部の欠けが生じる
- (2) 短時間で接続できて**遊間**の開かない方法が必要
- (3) 溶接は避けたい



鉄系SMA継目板の概要



鉄系SMAレール用継目板

クレーンレール(73kg/m)用

長さ	615 mm
幅	82 mm
厚さ	28 mm
製品重量	8.9 Kg

鉄系SMA継目板の施工



鉄系SMA継目板接続と溶接の比較

		項 目	鉄系SMA継目板	比較法(溶接)
全 般		技 能	不 要	必 要
		接 合 時 間	短 い	長 い
		加 熱 温 度	300 ~ 350 °C	≒ 1600 °C
		安 全 性	高 い	低 い
鋼管接続	250A	接 合 時 間	25分 (2人)	32分 (3人)
	800A	接 合 時 間	30分 (2人)	5時間 (3人)
レール用継目板		接 合 時 間	15分 (2人)	8時間 (3人)

※ クレーンレール用継目板の累計生産量
(2004年～2011年10月)

枚 数 1,830 枚
製品重量 14 t

継目板の暴露試験状況



屋外暴露試験(海岸より約4Km地点)

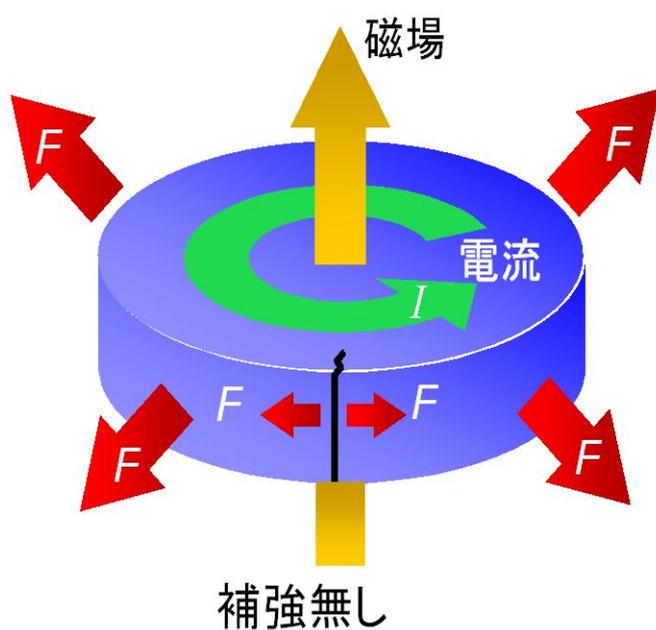
2010年07月01日現在

(2004年11月11日スタート)

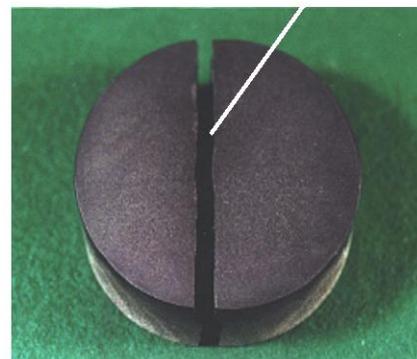


鉄系SMAリングによる超電導バルク材料の補強(1)

電流と磁場の共存 → ローレンツ力の発生 → 破壊の原因



[100]でへき開

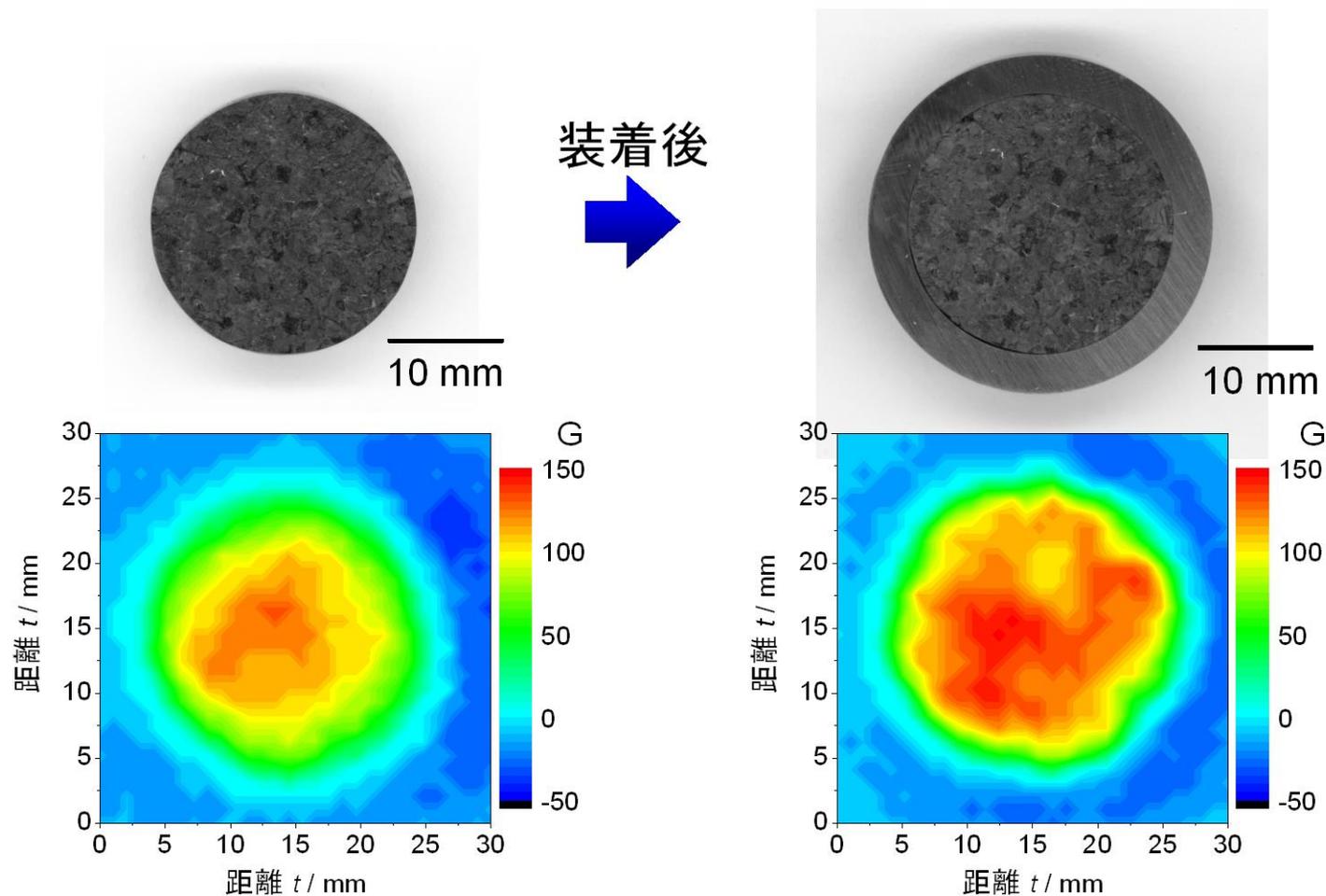


磁場を捕捉する際のローレンツ力で破壊したバルク超伝導体

40 K × 9.5 Tの磁場中で約100 MPaの引張応力が作用する

機械的強度が弱いために、強い磁場を捕捉することができない

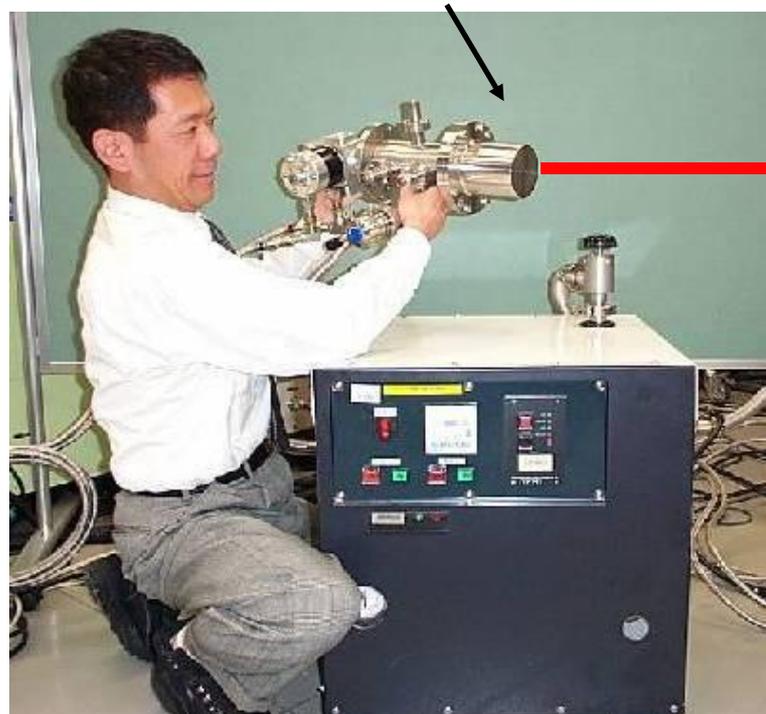
SMAリングによる超電導バルク材料の補強(2)



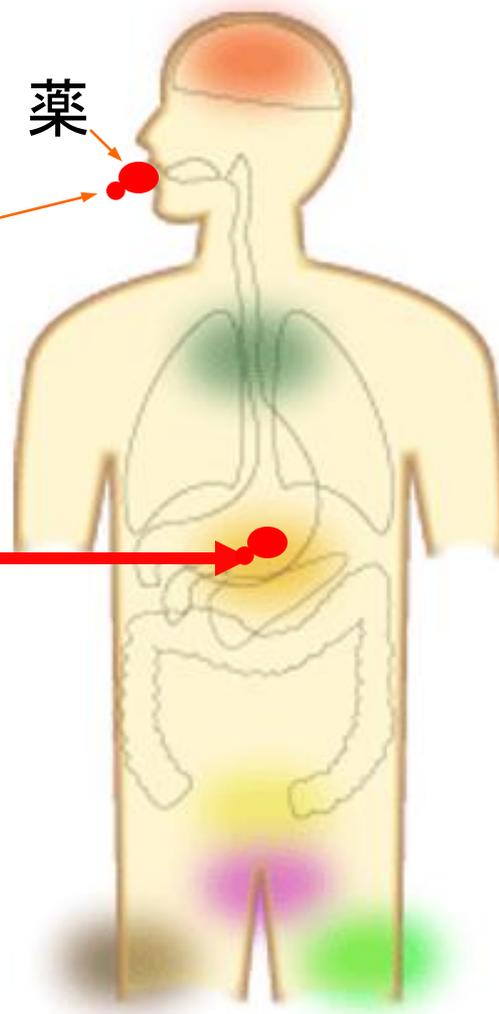
最大捕捉磁場および捕捉範囲の増加

超電導磁石の応用例 「ドラッグデリバリーシステム」

超伝導マグネット



薬
磁製粉末



鉄系SMAの新用途「制震ダンパーへの応用」

塑性変形による
($\gamma \rightarrow \epsilon$) 変態

初期(3~4%まで)の塑性変形は
応力誘起マルテンサイト変態
が「すべり」より優先する

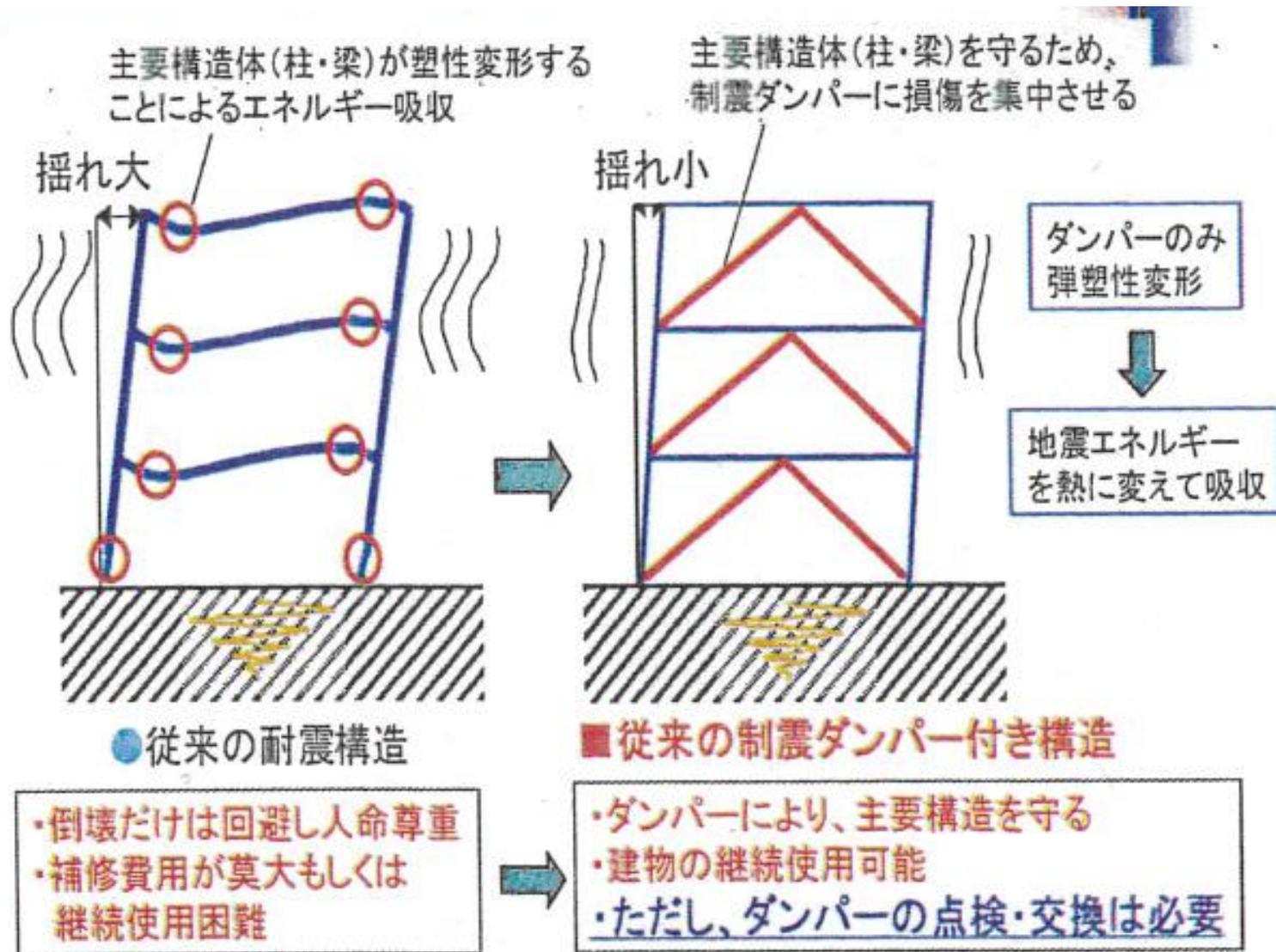
加熱による逆変態
($\epsilon \rightarrow \gamma$)

逆方向への変形付与
による逆変態
($\epsilon \rightarrow \gamma$)

形状記憶合金

制震ダンパー

制振ダンパーの機能



SMAの用途と製造プロセス

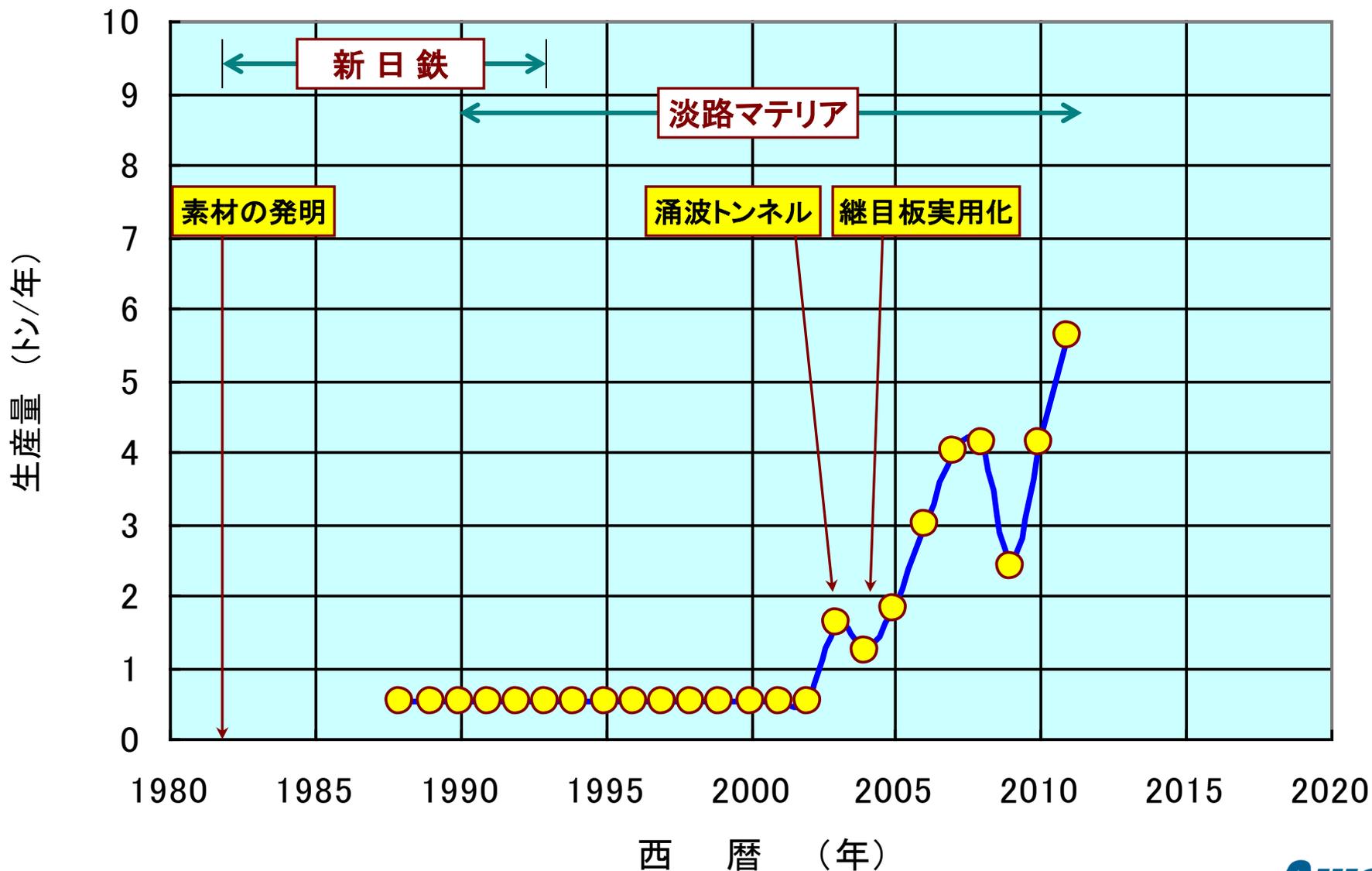
製 品	サ イ ズ (mm)	製 造 プ ロ セ ス
自転車用部材	1t×30φ	20kg誘導炉－熱間圧延－冷間圧延
ステンレス配管継手	20φ～40φ	20kg誘導炉－鍛造
すべり軸受け外筒	20φ～100φ	20kg誘導炉－鍛造－熱間棒圧延
トンネル工事用鋼管継手	100φ～300φ 250φ～800φ	500kg誘導炉－遠心鑄造 500kg誘導炉－鍛造－リング鍛造
レール用継目板	30×90×650	2ton誘導炉－鍛造－熱間形鋼圧延 または熱押し
超電導バルク補強材	30φ～100φ	150kg誘導炉－鍛造－熱間棒圧延
制震ダンパー芯材	H型断面 80～200(10～20t)	2ton誘導炉－鍛造－熱間板圧延 または熱押し

鉄系SMAの用途(まとめ)

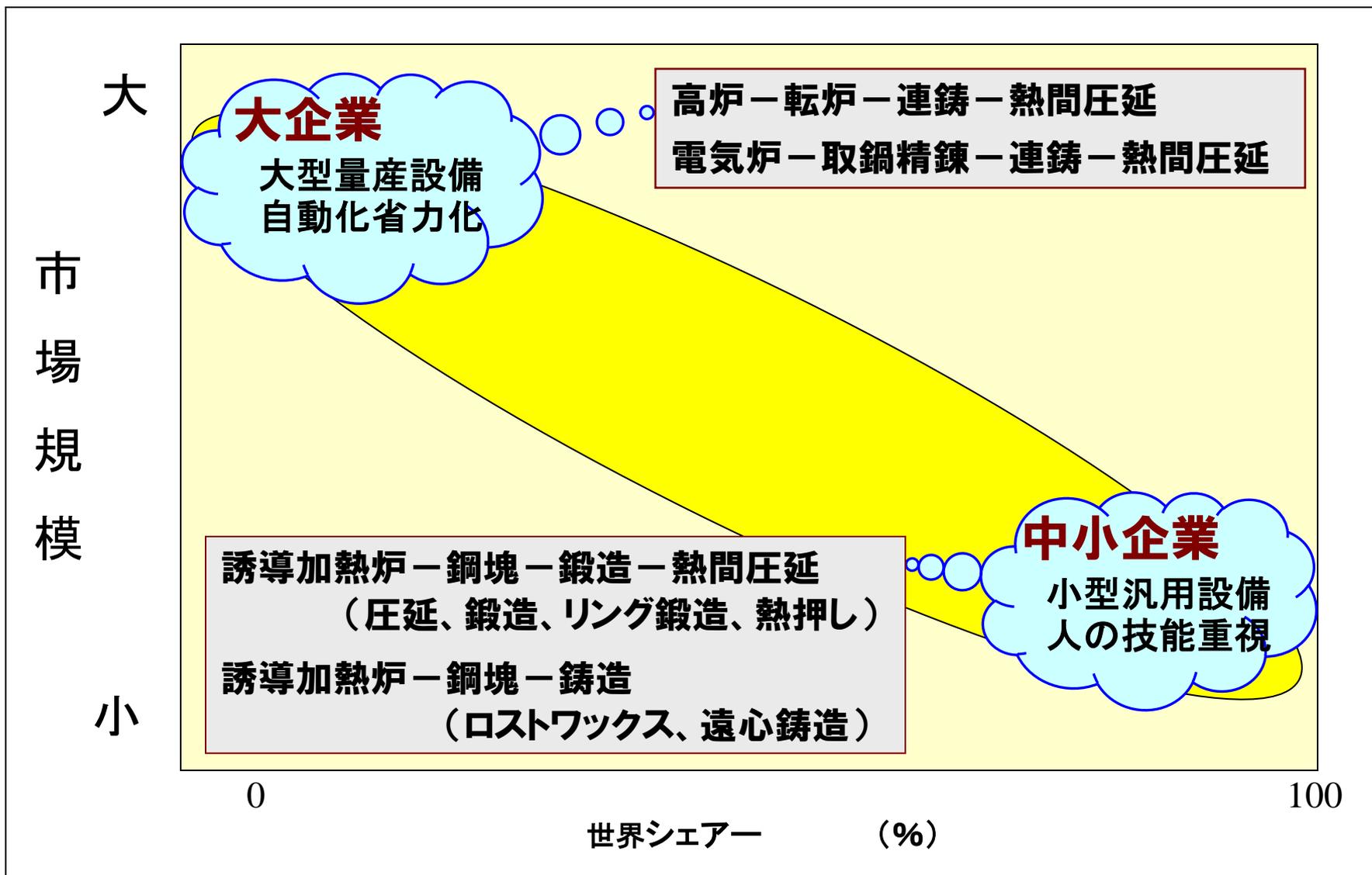
区 分		施工時	使用時	備 考
Ti-Ni系形状記憶合金合金		機能発揮		機能を価格に反映可能
鉄系SMA	センサーアクチュエータ			
	継目板・継手	機能発揮	構造材	構造材価格
	制震材料	通常施工	機能発揮	機能を価格に反映可能
低熱膨張合金、等				

- (1) 「**発現する機能を施工時だけ**」活用する用途
- ・量産可能で低価格の構造材として生き残れるか
(素材組成、量産製造工程での生産、歩留り改善)
 - ・「Ti-Ni系に比べて安い」とはいわない
- (2) 「**施工後の使用状態で機能を発揮させる**」新しい用途
- ・制震材料としての用途開拓で新たな展開に期待

鉄系SMAの生産量推移



鉄鋼材料の棲み分け関係



従来の枠組みから外れた新製品の開発

新しい原料を採用したり、使用していた原料でも格段に多量に使うような新製品の開発は、大量生産設備だけでは進めにくい

- ① 適正な規模で有効なデータを得る試験がやりにくい
- ② 溶解設備能力の問題
 - ・使用する元素の種類と量からの制約
 - ・原料から混入する不純物の除去、無害化の問題
- ③ 研究室と実機大量生産設備の間の中規模での実証検討の必要性
 - ・凝固過程の違いによる凝固欠陥や偏析の問題
 - ・熱間加工工程の違いに起因する問題

圧延機の仕様の違い
ひずみと温度履歴の違い



結晶粒サイズ
介在物の変形
偏析の均一化

むすび

平均組成から外れた特殊な鉄鋼材料の製造経験から得たこと

