

本日の内容

自動車軽量化に貢献する高張力鋼板と加工技術、溶接技術の展望

2012年3月12日
JFEスチール株式会社
スチール研究所
吉武明英

- 1) CO₂排出削減を目指した車体軽量化とハイトン適用
- 2) 自動車用ハイトン材料と特徴
 - 外板パネル用高強度鋼板
 - 構造・補強部品用高強度鋼板
- 3) 自動車の衝突特性向上と加工技術
- 4) 自動車軽量化を支える溶接技術

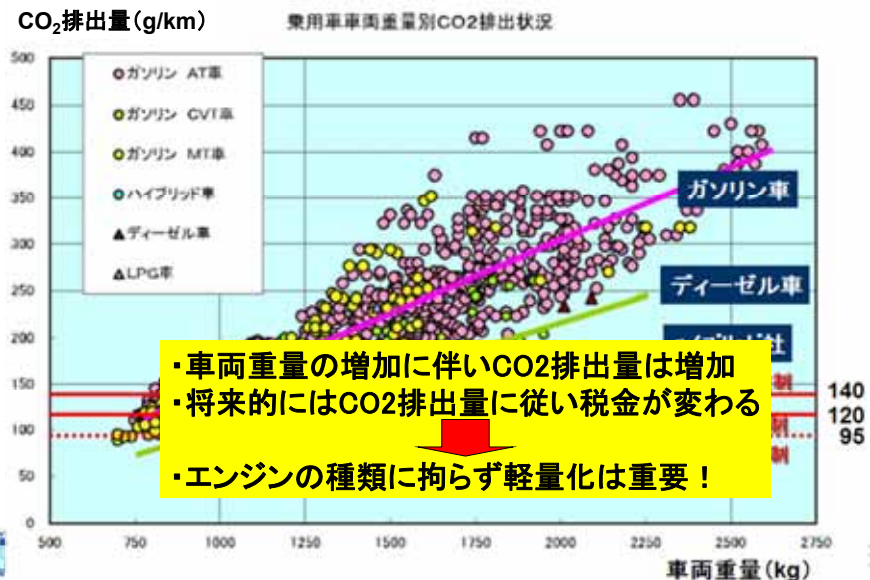


本日の内容

- 1) CO₂排出削減を目指した車体軽量化とハイトン適用
- 2) 自動車用ハイトン材料と特徴
 - 外板パネル用高強度鋼板
 - 構造・補強部品用高強度鋼板
- 3) 自動車の衝突特性向上と加工技術
- 4) 自動車軽量化を支える溶接技術



CO₂排出量と車両重量



自動車に求められる衝突安全性能

衝突時の乗員保護 <Regulation>



前面フルラップ

側面衝突

ロールオーバー



前面オフセット



後面衝突

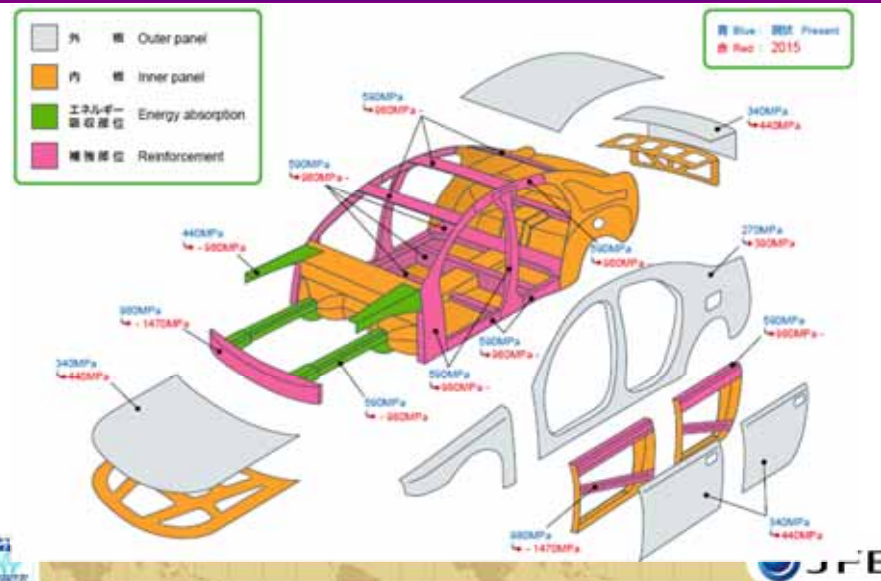


ポール衝突
(現時点では規定無し)

「Motor Fan illustrated 特集安全技術の現在」三栄書店



高強度鋼板適用部位とさらなる高強度化



鋼の強化機構

◆鋼を強化するには？

- ・転位の移動を妨害すればよい
- ・障害物によって強化機構を分類

障害物	固溶元素	析出物	粒界	硬質相
強化名称	固溶強化	析出強化 (粒子分散強化)	粒界強化 (結晶粒微細化強化)	組織強化 (転位強化)

障害物の
サイズ

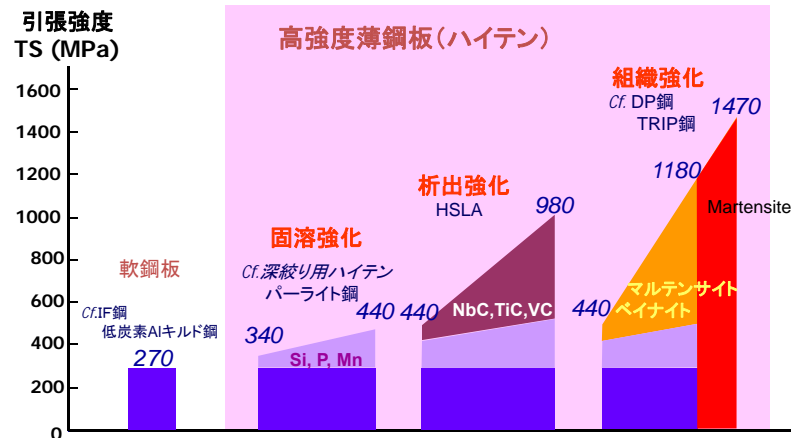
小



大



薄鋼板の強化方法と引張強度レベル



本日の内容

9

- 1) CO₂排出削減を目指した車体軽量化とハイテン適用
- 2) 自動車用ハイテン材料と特徴
 - 外板パネル用高強度鋼板
 - 構造・補強部品用高強度鋼板
- 3) 自動車の衝突特性向上と加工技術
- 4) 自動車軽量化を支える溶接技術



高強度鋼板(冷延+めっき)の適用拡大へ向けた課題

10

高強度鋼板 主要適用部品	部品要求性能	適用材料	引張強さ (MPa)	更なる高強度材適用 への材料技術課題
パネル部品 ・ドア ・フェンダー ・サイドパネル	外板表面品質 (面ひずみ等) 耐デント性 張り剛性 耐食性	BH鋼板 IF型ハイテン	~340	めっき表面品質 耐面ひずみ性 (低YP - 高n値) 成形性(高E _l , r値)
構造部品 ・メンバー ・ピラーR/F	衝撃強度 疲労強度 剛性 耐食性	固溶強化型鋼板 析出強化型鋼板 DP鋼板 TRIP型鋼板	440 ~980	成形性 (高E _l , n値, 曲げ性, 伸びフランジ性) スポット溶接性 めっき適合性 耐遅れ破壊特性
補強部品 ・トアインパクトビーム ・バンパーRF ・シートフレーム	衝撃強度 疲労強度	DP鋼板 ベイナイト鋼板 マルテンサイト鋼板	780 ~1470	



本日の内容

11

- 1) CO₂排出削減を目指した車体軽量化とハイテン適用
- 2) 自動車用ハイテン材料と特徴
 - 外板パネル用高強度鋼板
 - 構造・補強部品用高強度鋼板
- 3) 自動車の衝突特性向上と加工技術
- 4) 自動車軽量化を支える溶接技術



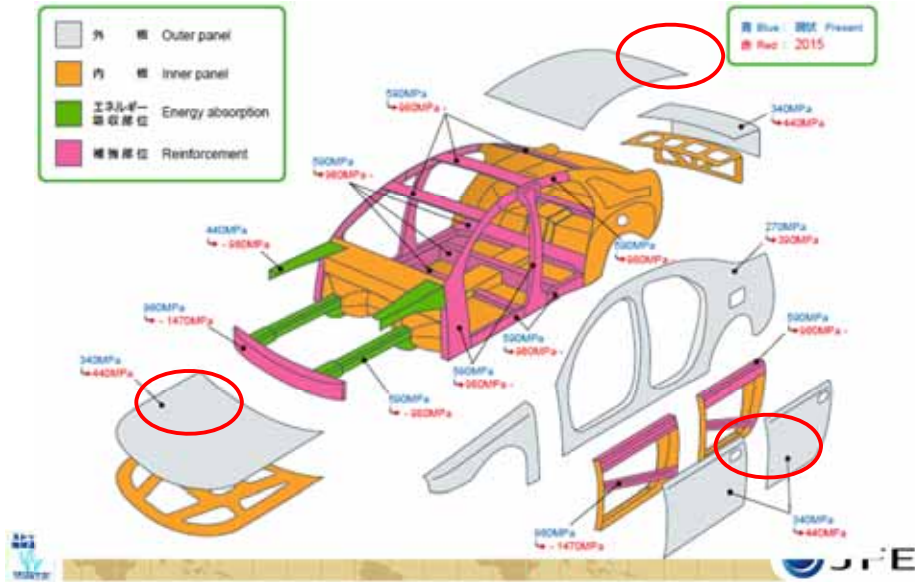
高強度鋼板(冷延+めっき)の適用拡大へ向けた課題

12

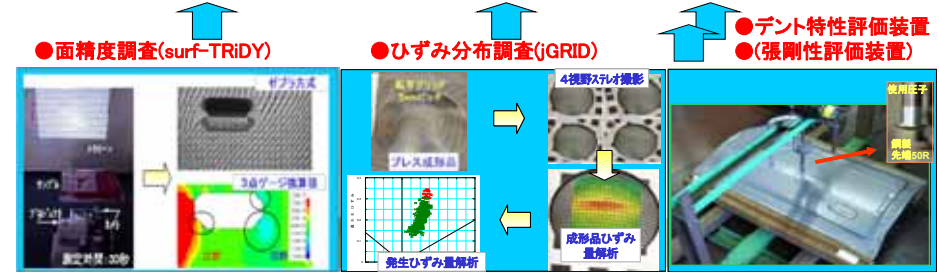
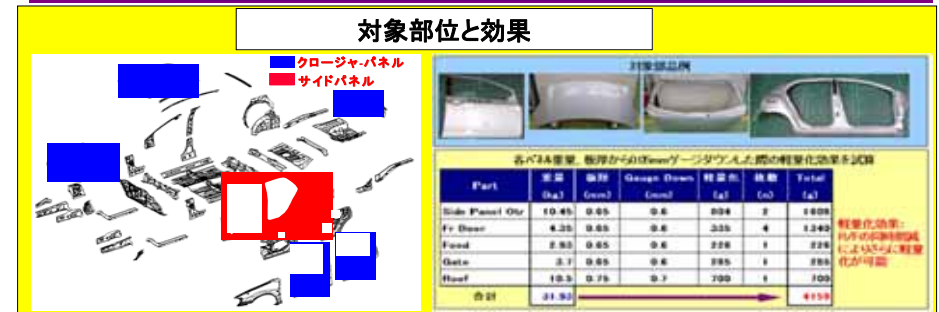
高強度鋼板 主要適用部品	部品要求性能	適用材料	引張強さ (MPa)	更なる高強度材適用 への材料技術課題
パネル部品 ・ドア ・フェンダー ・サイドパネル	外板表面品質 (面ひずみ等) 耐デント性 張り剛性 耐食性	BH鋼板 IF型ハイテン	~340	めっき表面品質 耐面ひずみ性 (低YP - 高n値) 成形性(高E _l , r値)
構造部品 ・メンバー ・ピラーR/F	衝撃強度 疲労強度 剛性 耐食性	固溶強化型鋼板 析出強化型鋼板 DP鋼板 TRIP型鋼板	440 ~980	成形性 (高E _l , n値, 曲げ性, 伸びフランジ性) スポット溶接性 めっき適合性 耐遅れ破壊特性
補強部品 ・トアインパクトビーム ・バンパーRF ・シートフレーム	衝撃強度 疲労強度	DP鋼板 ベイナイト鋼板 マルテンサイト鋼板	780 ~1470	



張り出し成形を主体とするクロージャーパネル部品

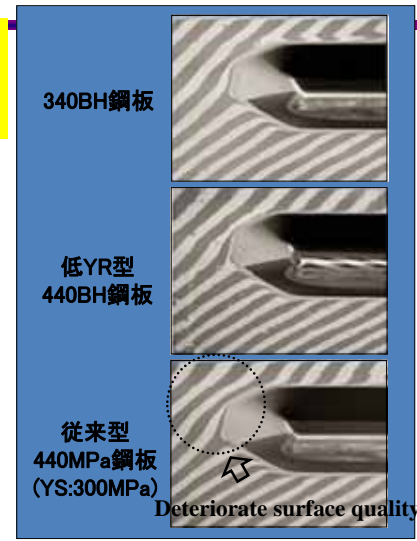
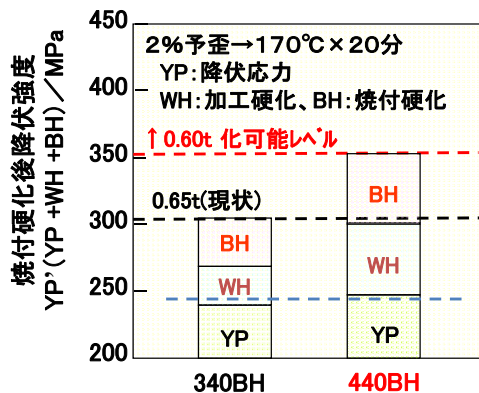


外板パネルへのハイテン化による軽量化



クロージャーパネル用BH鋼板の高強度化¹⁵

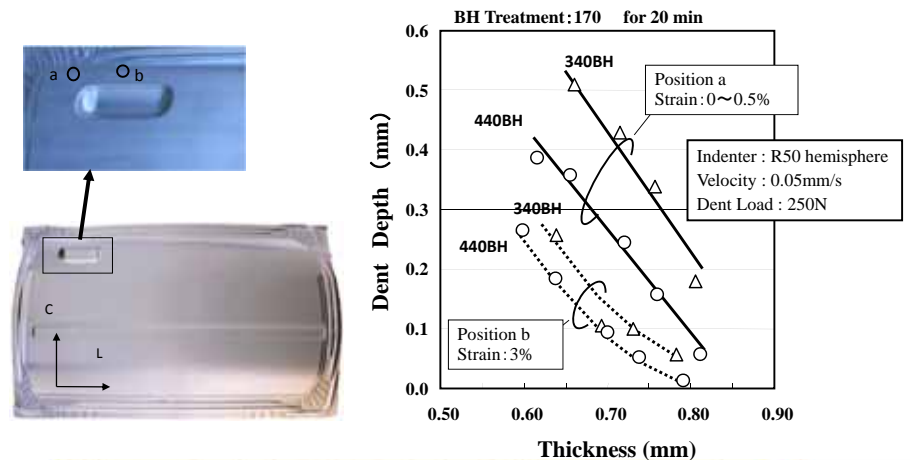
変態強化の活用(DP化)による
1) 低YP化⇒耐面ひずみ性の確保
2) WH+BHの増加⇒耐デント性の向上



面ひずみに及ぼすYPの影響(モデルパネル)

クロージャーパネル用440BH鋼板の耐デント性

●低YR型440MPa級BH鋼板によるドアパネル取っ手周辺部の耐デント性向上



本日の内容

- 1) CO₂排出削減を目指した車体軽量化とハイテン適用
- 2) 自動車用ハイテン材料と特徴
 - 外板パネル用高強度鋼板
 - 構造・補強部品用高強度鋼板
- 3) 自動車の衝突特性向上と加工技術
- 4) 自動車軽量化を支える溶接技術



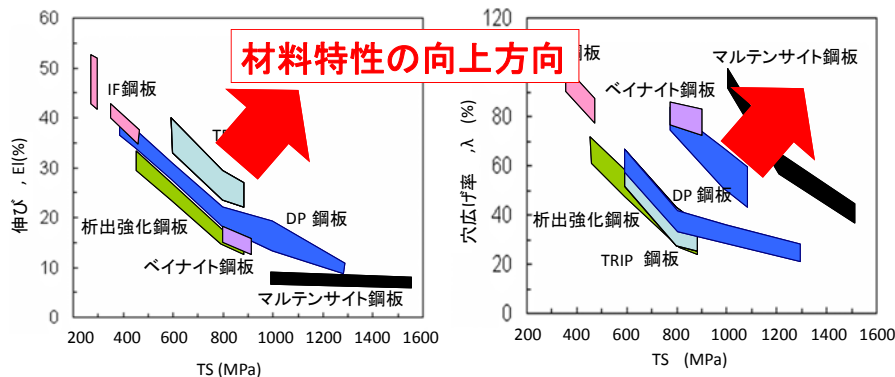
高強度鋼板(冷延+めっき)の適用拡大へ向けた課題

高強度鋼板 主要適用部品	部品要求性能	適用材料	引張強さ (MPa)	更なる高強度材適用 への材料技術課題
パネル部品 ・ドア ・フェンダー ・サイドパネル	外板表面品質 (面ひずみ等) 耐デント性 張り剛性 耐食性	BH鋼板 IF型ハイテン	~340	めっき表面品質 耐面ひずみ性 (低YP - 高n値) 成形性(高EI, r値)
構造部品 ・メンバー ・ピラーR/F	衝撃強度 疲労強度 剛性 耐食性	固溶強化型鋼板 析出強化型鋼板 DP鋼板 TRIP型鋼板	440 ~980	成形性 (高EI, n値, 曲げ性, 伸 びフランジ性) スポット溶接性 めっき適合性 耐遅れ破壊特性
補強部品 ・ドアインパクトビーム ・バンパーRF ・シートフレーム	衝撃強度 疲労強度	DP鋼板 ベイナイト鋼板 マルテンサイト鋼板	780 ~1470	



ハイテン材料の開発動向

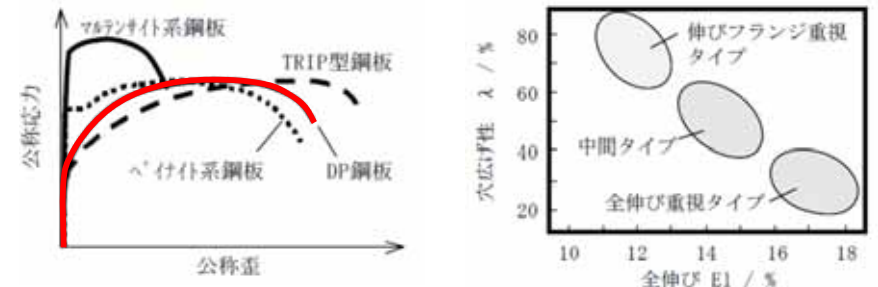
- ◆ 高入型: DP鋼板もしくはマルテンサイト鋼板をベースに設計
- ◆ IF鋼は高r値、DP鋼板は低降伏比(YS/TS)に特長あり



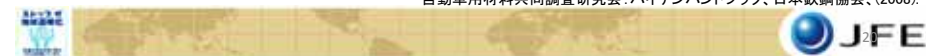
材料強度の上昇と共に材料の加工性は悪くなる傾向がある
高強度で加工性の良い材料開発が将来の軽量化を握る

980MPa級DP鋼板の組織的特徴

- ◆ DP鋼板の特徴: 低YP・高n値=均一伸び大
- ◆ 一方でフェライトとマルテンサイトの硬度差(変形能の差)が大きい
→ 穴広げなどの極限変形能は低い傾向
→ マルテンサイトの分率と硬さを制御することで、EI-λのバランスを変えた鋼板を実用化

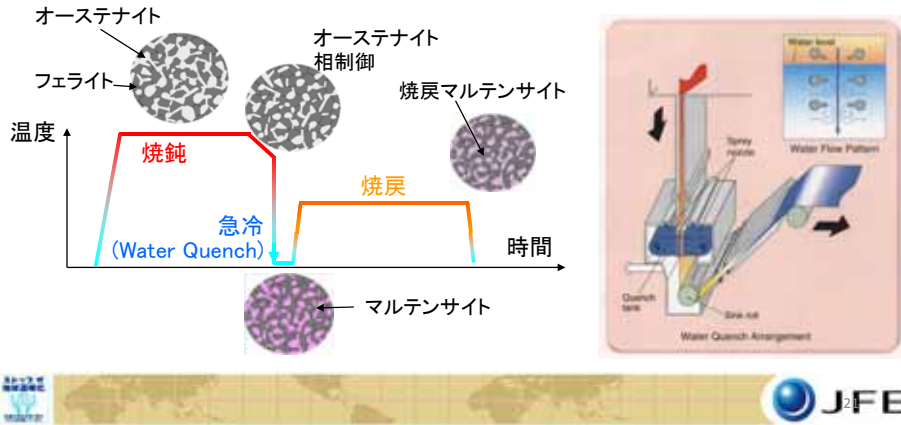


自動車用材料共同調査研究会:ハイテンハンドブック、日本鉄鋼協会、(2008).



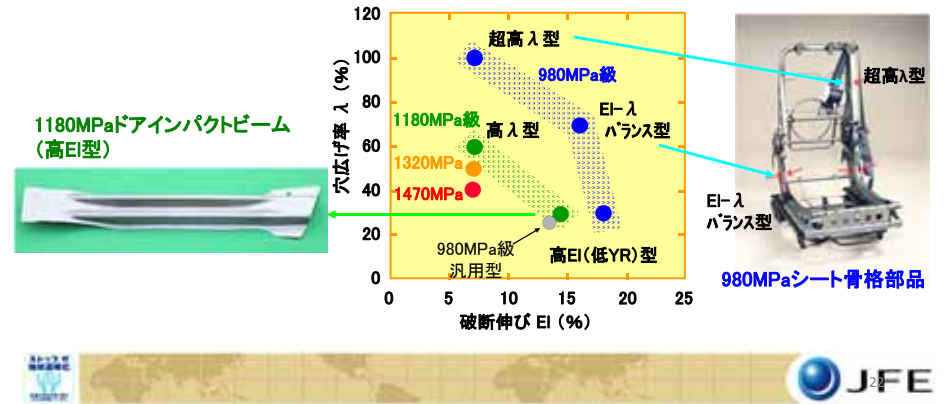
水焼き入れWQプロセスとその特徴

- ◆ 冷却速度が大きいので低合金でDP鋼板を製造するのに有利
- ◆ 気水冷却に比べて冷却が均一で材質ばらつき低減が可能
- ◆ 焼戻プロセスの追加で高入化が容易



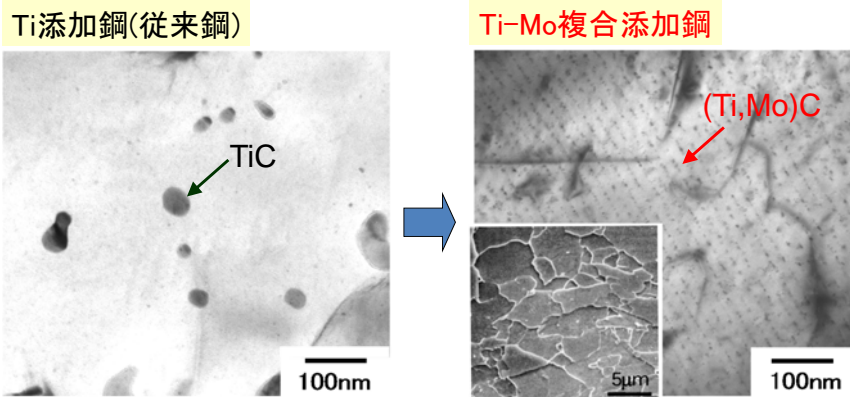
WQプロセスで製造される超ハイテン

- ◆ 水焼入れする前の温度によって硬質なマルテンサイトの量に変化 → 伸びと入のバランスを制御することが可能
- ・フルマルテンサイト: 高入型
- ・マルテンサイト小(延性のよいフェライトが大): 高伸び型
- ◆ C量を上げることで1470MPa級も製造可能



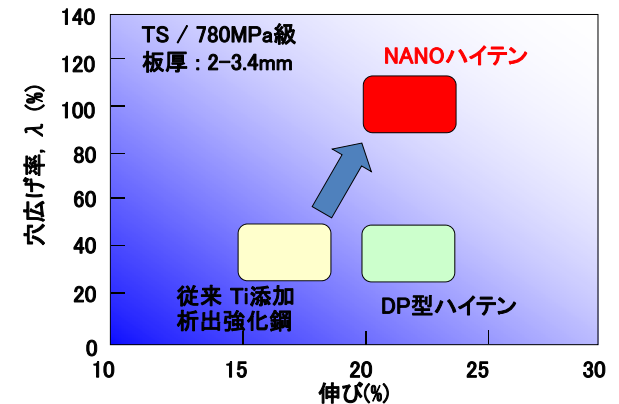
780-980MPa級NANOハイテン(熱延鋼板)

- ◆ Mo複合添加で析出物のサイズが従来の10分の1まで微細化 → 余剰Cを残さないことでマトリクスも加工性のよいフェライト単相に



ナノサイズ析出強化鋼(NANOハイテン)の特性

- ◆ 破壊の起点(析出物)が分散されるため、穴広げ性が格段に向上 → 延性に富んだフェライトが主体のため、高い伸びも両立



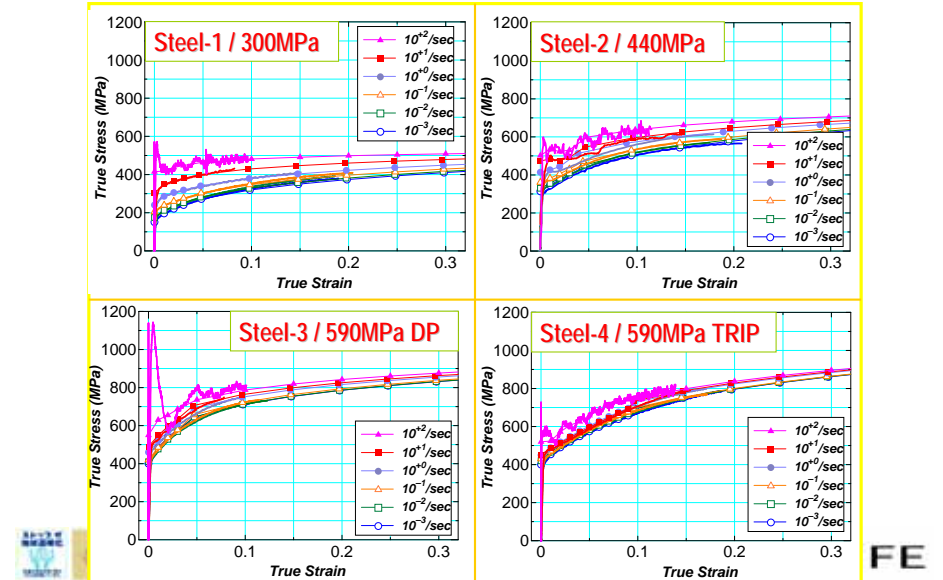
本日の内容

- 1) CO₂排出削減を目指した車体軽量化とハイテン適用
- 2) 自動車用ハイテン材料と特徴
 - 外板パネル用高強度鋼板
 - 構造・補強部品用高強度鋼板
- 3) 自動車の衝突特性向上と加工技術
- 4) 自動車軽量化を支える溶接技術



自動車用鋼板の高速引張特性

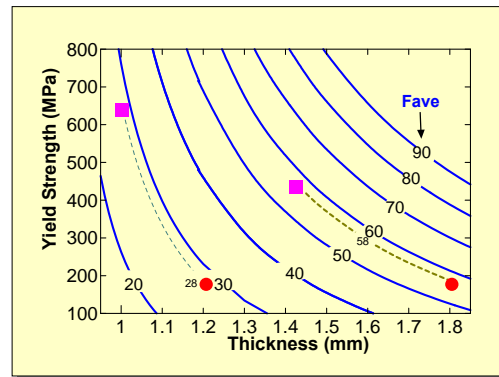
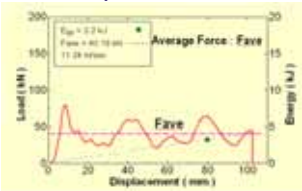
(薄鋼板引張強度のひずみ速度依存性)



部品の高速変形特性

(ハット部材の衝撃吸収エネルギーに及ぼす鋼板強度、板厚の影響)

Force vs. Displacement Curve



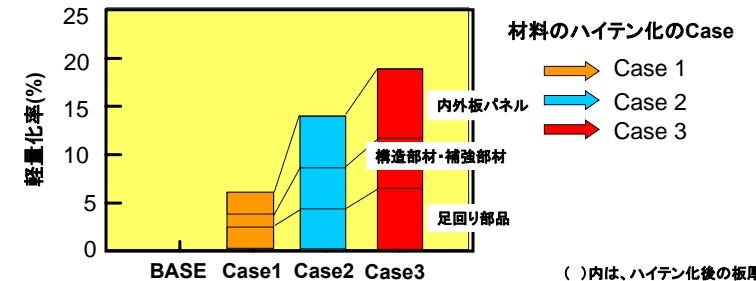
Contour line diagram for crashworthiness of the Column

高速変形試験では、

- 1) 部材の変形モードと荷重/吸収エネルギーの関係
- 2) 吸収エネルギーに及ぼす材料強度、材料板厚、試験速度等の関連を系統的に調査することが必要

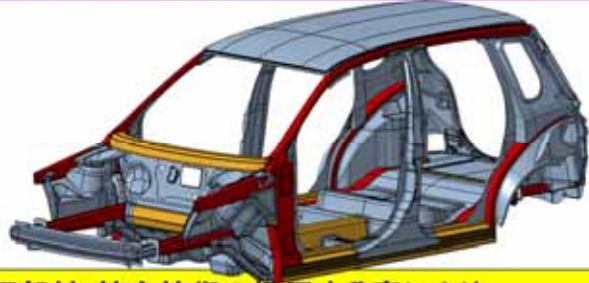


ハイテン材料の使用による車体軽量化試算例



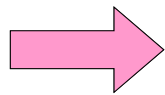
部位	主な部品	現状強度 (MPa)	降伏比	現状板厚 (mm)	材料のハイテン化のCase						板厚算出の観点	
					材料強度 (TS=390)	材料強度 (TS=440)	材料強度 (TS=590)	材料強度 (TS=780)	材料強度 (TS=980)	材料強度 (TS=1180)		材料強度 (TS=1470)
外板	フード、ドア、ルーフ	340	0.6	0.65	(0.65)	(0.60)	(0.50)					耐デント性
	強度負担 サイメン	270	0.6	0.70	(0.65)	(0.65)						衝突性能
内板	パネル フロア、ダッシュ	440	0.7	1.00	(1.0)	(1.0)						衝突性能
	サイドメンバ、ルーフ レール	440	0.7	1.40		(1.3)	(1.2)	(1.1)				衝突性能
	骨格・補強 ビラー	440	0.7	1.40		(1.3)	(1.2)	(1.1)				衝突性能
足廻り	クロスメンバ	440	0.7	1.00				(1.3)	(1.2)	(1.1)		衝突性能
	サスペンションアーム	440	0.7	3.00				(2.8)	(2.5)	(2.4)		衝突性能
その他	バンパーR/F	1180	0.9	1.50						(1.5)	(1.5)	衝突性能
	ドアビーム	1470	0.9	1.50							(1.5)	衝突性能

自動車の軽量化と車体構造特性向上の課題²⁹ (高剛性化と閉断面化・接合技術の必要性について)



●閉断面部材・接合技術の採用する事により、静的強度、動的強度(含む衝突特性)、剛性を向上させる事が出来る。

- 軽量化・高剛性車体を作る為には、
- 適切なハイテン材料の積極的採用
 - 新加工方法の採用
 - 閉断面構造部材の積極的採用
 - 新接合の積極的採用
 - TWBの採用



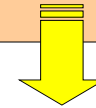
自動車用高強度鋼板の成形加工上の課題

高張力鋼板の加工技術上の課題

プレス割れ
深絞り、張出し、
伸びフランジ、曲げ

形状凍結性
スプリングバック
(寸法精度向上)

しわ



寸法精度向上と成形性向上対策
スプリングバック対策技術と成形性向上技術

張力制御成形とフォーム+ドロウ成形による³¹ 寸法精度不良対策

(検討対象とした成形方法)

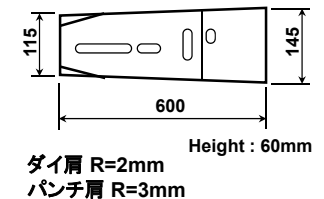
絞り成形 or 張力制御		
フォーム		
フォーム +ドロウ		

実部品成形実験

1200Tonプレス機



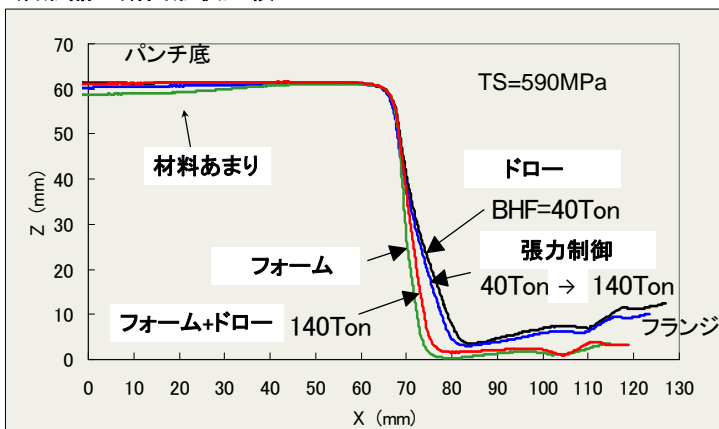
Front Side Member model



成形品外観

成形方法の影響

成形品の断面形状比較1



- 結果**
- ・フォーム及びフォーム+ドローはドロー及び張力制御成形に比べて壁反りが少なく成形品寸法精度が高い。
 - ・フォームでは、パンチ底部に材料あまりが発生する場合がある。

フォーム + ドロー成形の応用成形法 —オーバーラン成形法(弊社呼称)とその効果—

オーバーラン成形法

フォーム工程金型を逃がし
小Rでの曲がり角を防止

ドロー(ストレッチ)工程張出しに近い条件で材料あまりを除去

a)オーバーラン成形品断面形状
(材料:590MPa材、BHF:10TON、プランク幅:70mm)

b)ドロー成形品断面形状<比較>
(材料:590MPa材、BHF:10TON、プランク幅:70mm)

- 結果**
- ・オーバーラン成形により、壁反り及び肩部角度変化が低減する。
 - ・ドロー工程でのストレッチ量が不足すると、材料あまりとなる場合がある。

フォーム + ドロー成形の応用成形法 階段ダイ肩成形法(弊社呼称)とその効果

階段ダイ肩成形法

成形後期における縦壁張力付与により残留モーメントを除去

ラボ試験結果

通常ハット曲げ成形

階段ダイ肩成形

FEM解析結果

縦壁に曲げ癖が残る(金型寸法の適正化が課題)

結果

- ・階段ダイ肩成形により、壁反り及び肩部角度変化が低減する。

サーボプレスを活用した新プレス加工技術JIM-Form®

JFE Intelligent Multi-stage Forming with Press Motion Control

サーボプレス機による実物大パネルの成形性評価

590MPa鋼板

通常成形

JIM-Form

割れ

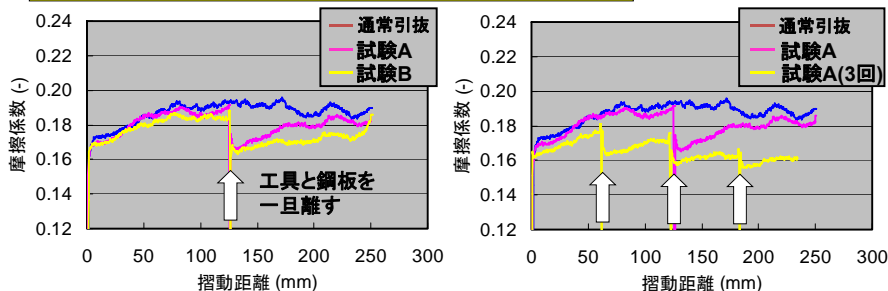
OK

3 Step

JFE

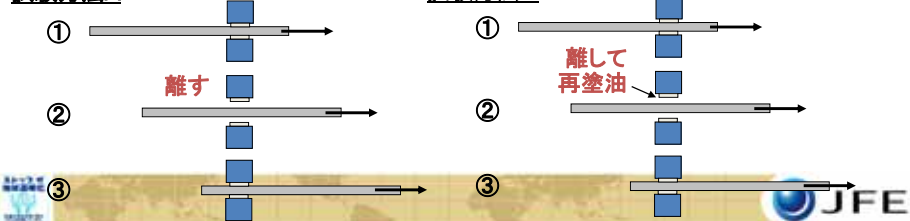
摺動試験結果

工具と鋼板を離すことで、摩擦係数が約20%低減した



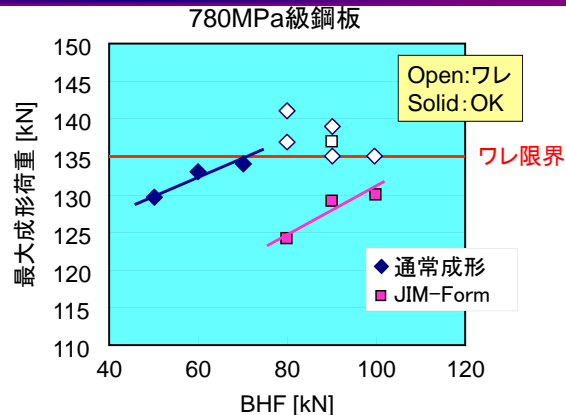
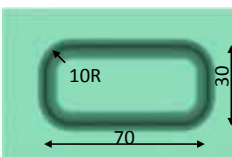
試験方法A

試験方法B



高強度薄鋼板の角筒絞り成形結果

・780MPa級GA鋼板
・しわ押さえ荷重 80kN



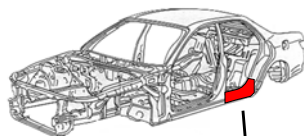
■サーボプレス機による自動プレスモーション制御により、成形性が向上することを確認。
■最大成形荷重の低減により、成形性が向上する。

成形余裕量の拡大

■割れFAT結果

△: ネック小, ×: ネック大

	BHF(kN)				
	300	350	400	450	500
Conventional	○	△	×		
JIM-Form	○	○	○	△	△



Conventional



JIM-Form

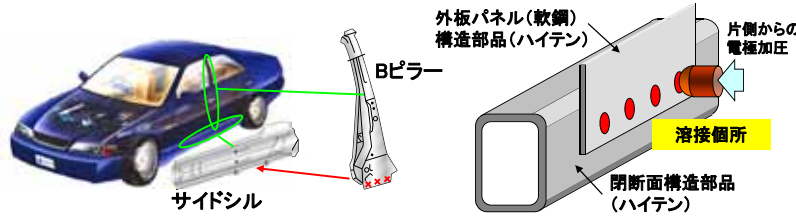


本日の内容

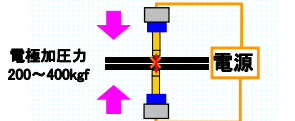
- 1) CO₂排出削減を目指した車体軽量化とハイトン適用
- 2) 自動車用ハイトン材料と特徴
 - 外板パネル用高強度鋼板
 - 構造・補強部品用高強度鋼板
- 3) 自動車の衝突特性向上と加工技術
- 4) 自動車軽量化を支える溶接技術

片側スポット溶接技術

<車体軽量化・高剛性化のための新構造>



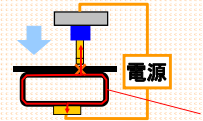
通常スポット溶接方法



- ・両側からのアクセス必要
- ・溶融ナゲットが安定形成

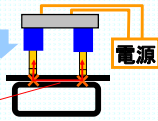
片側スポット溶接方法

インダイレクト方式



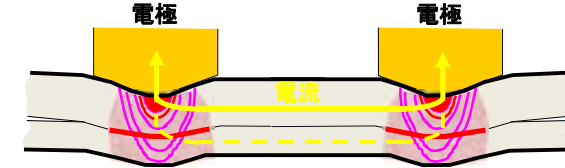
- ・片側からのアクセスで溶接可能
- ・溶融ナゲットの安定形成が困難

シリーズ方式



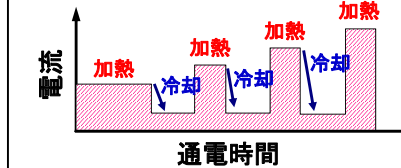
シリーズ片側スポット溶接の従来知見

平井ら;溶接学会全国大会講演概要、第79集(2006)
池田ら;溶接学会全国大会講演概要、第79集(2006)

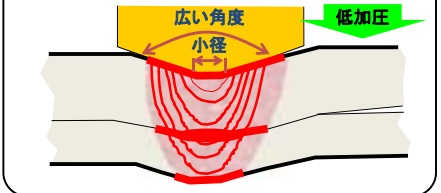


溶接に寄与する下板電流が少ない 上板を流れる電流を活用

通電パターン



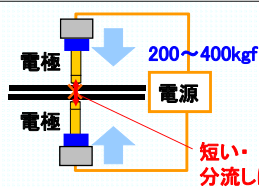
電極形状—低加圧力



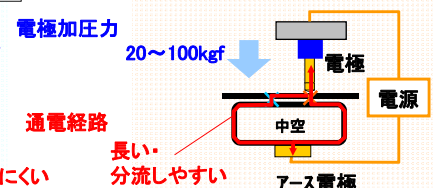
電極-上板での発熱状態を制御し接合部を確保

インダイレクト片側スポット溶接の課題

汎用抵抗スポット溶接:ダイレクト式



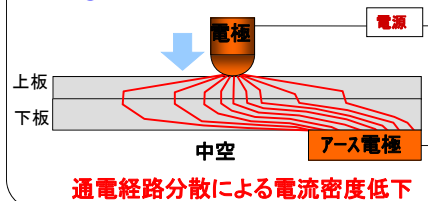
片側スポット溶接:インダイレクト式



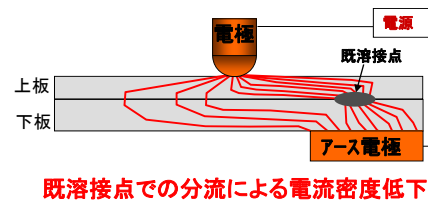
ナゲット形成が不安定化

インダイレクト片側スポット溶接における分流通路

要因①: 鋼板間の接触状態



要因②: 既溶接点

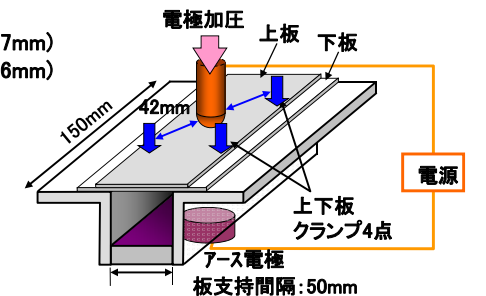


実験方法

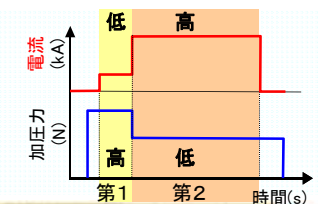
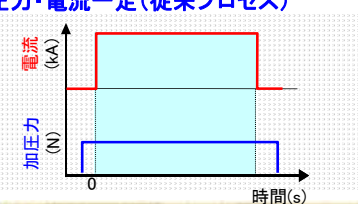
- 板組み:
 - ・上板 270N/mm²級冷延鋼板(板厚0.7mm)
 - ・下板 980N/mm²級冷延鋼板(板厚1.6mm)

- 溶接条件:
 - ・電極 先端曲率 R40mm
 - ・通電時間 0.3sec (15cyc)
 - ・加圧力・電流 一定(従来) 制御(検討)

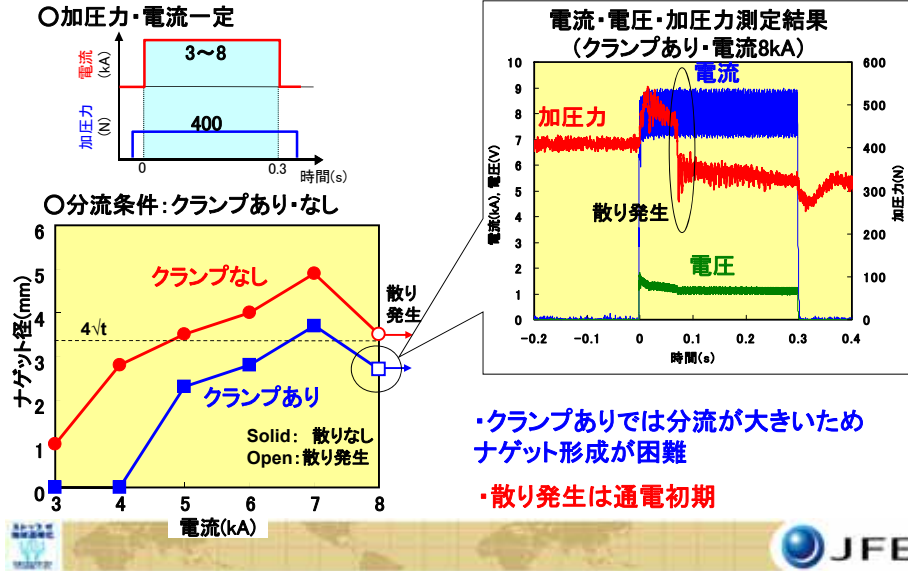
- 分流通路条件:
 - ・クランプ あり・なし (上下板を4点でクランプし分流を変化)
- 加圧力・電流一定(従来プロセス)



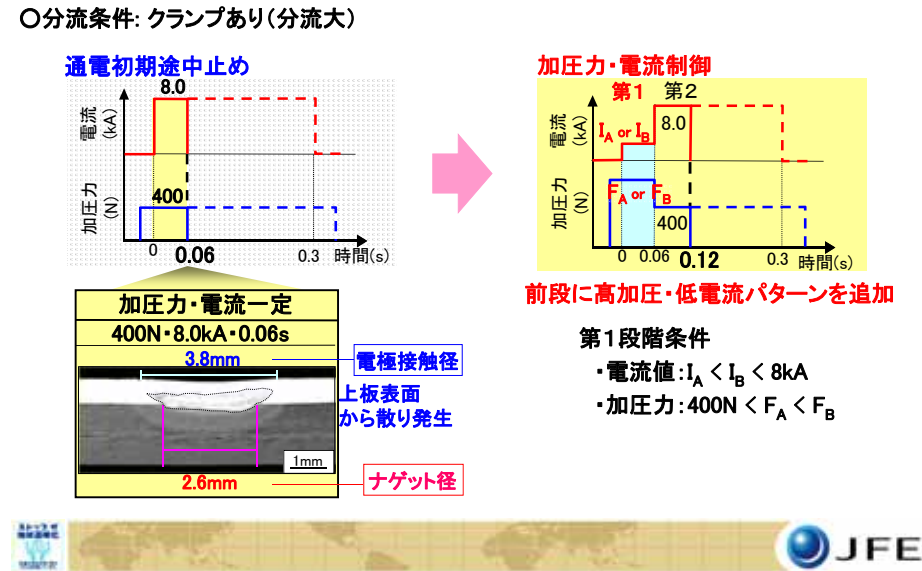
加圧力・電流制御(検討プロセス)



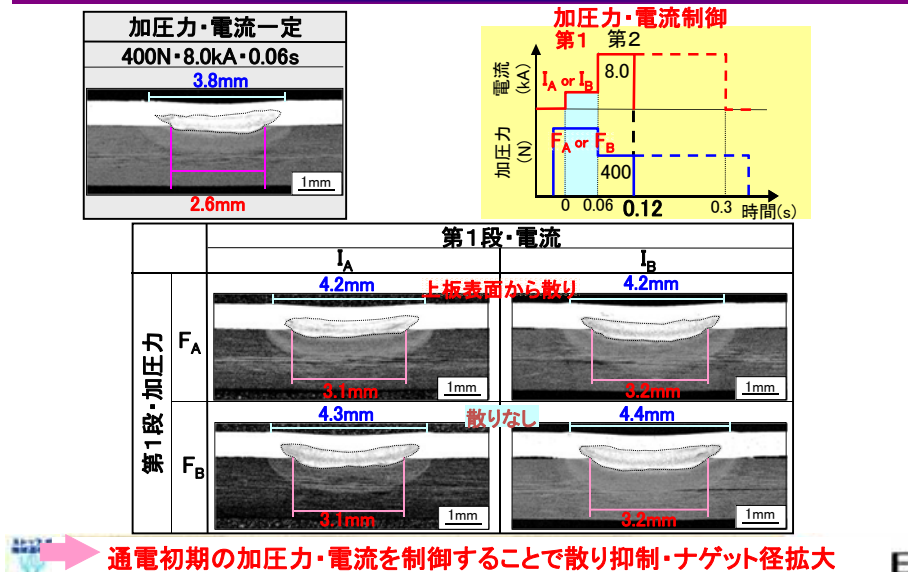
分流の影響の検討



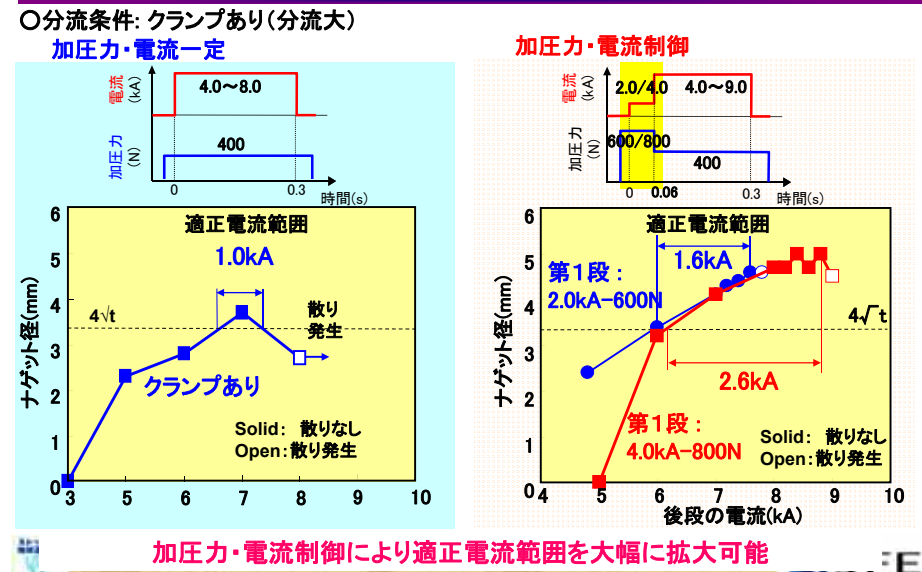
通電初期の散り抑制・ナゲット形成制御



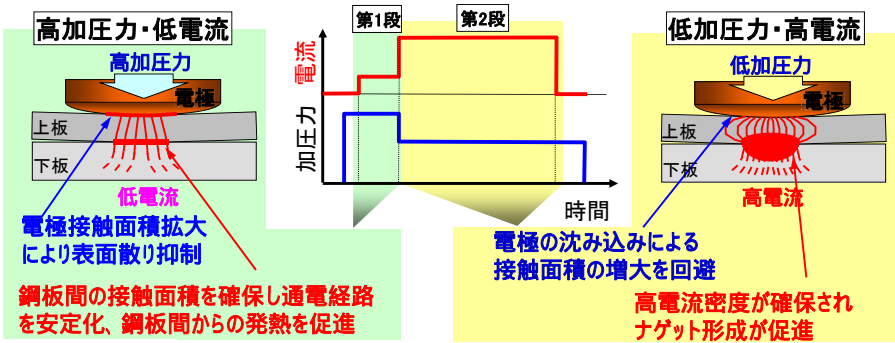
通電初期の散り抑制・ナゲット形成制御



ウェルドローブ試験結果



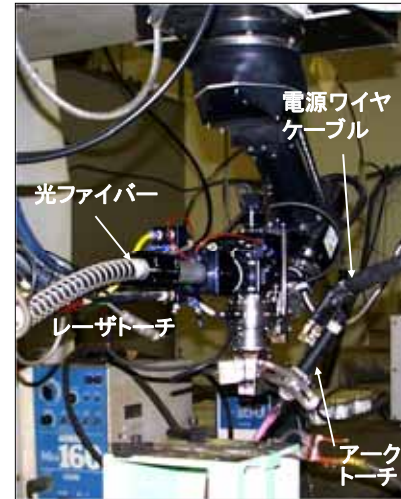
加圧力・電流制御によるナゲット形成促進・散り抑制



加圧力・電流制御プロセスによりナゲット形成促進・散り抑制を達成



ハイブリッド溶接技術



装置仕様

YAGレーザー
メーカー:住友重機械工業製
最大平均出力 4.5kW
(加工点3.0kW)

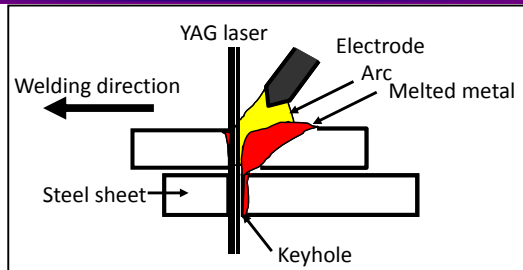
加工機(ガントリー型)
X軸 4000mm
Y軸 1500mm
Z軸 1000mm
アーム回転角度 X軸面 ±180°
Z軸面 ±180°

MAG溶接機
DC 20~30V, 200A
ワイヤ 軟鋼用 φ0.8mm

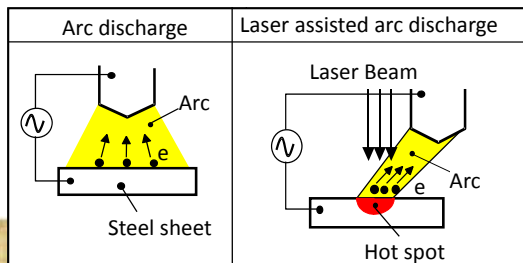
TIG溶接機
DC 20V, 200A,



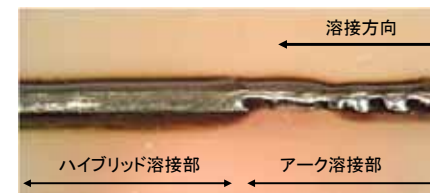
ハイブリッド溶接法の構成



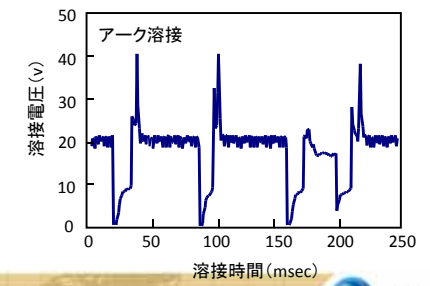
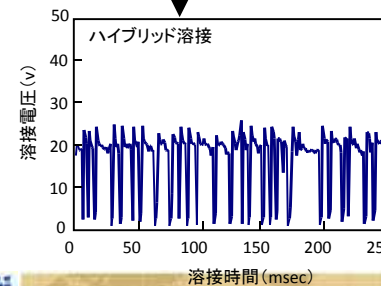
レーザー照射によるアーク放電安定化効果



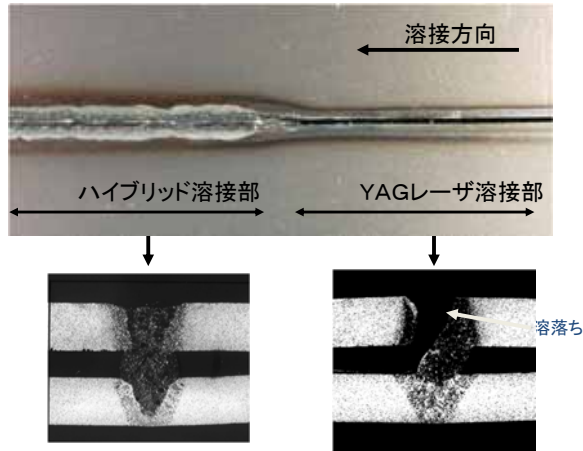
レーザー同時照射によるアーク溶接の高速化



隅肉継手: 上板 0.8mm 下板 1.2mm
溶接条件: レーザ出力 2 kW
アーク電流 100A
溶接速度 2m/min

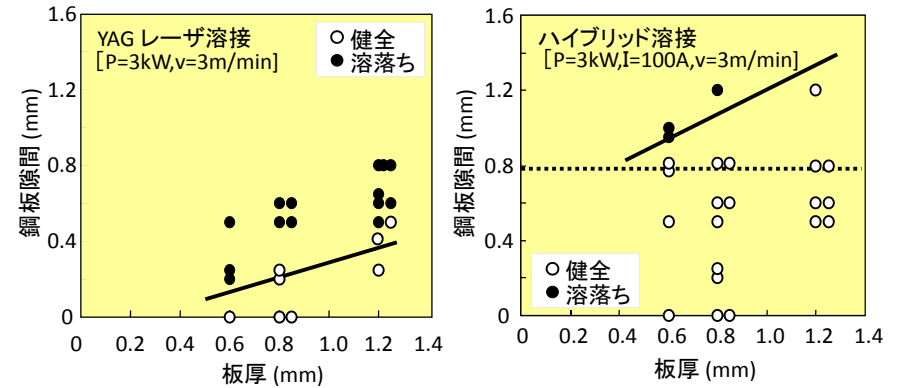


重ね溶接における隙間許容量の拡大



継手形式: 重ね継手(下向き) 上板0.8mm, 下板0.8mm, 隙間0.6mm
 溶接条件: レーザ出力 3 kW, アーク電流 100A, 溶接速度 3m/min

重ね溶接における隙間許容量の拡大



レーザー溶接法の隙間許容量は約0.3mm
 ハイブリッド溶接法の隙間許容量は約0.8mm

亜鉛めっき鋼板の溶接性

レーザー溶接法	ハイブリッド溶接法
材料: GA45/45 0.8mmt レーザ出力3.2kW, 溶接速度2m/min	材料: GA45/45 0.8mmt レーザ出力3.2kW, 電流100A, 溶接速度2m/min

・レーザー溶接法ではブローホール等の溶接欠陥が多発
 ・ハイブリッド溶接法では溶接欠陥を大幅に抑制可能

まとめ

- 1) 自動車軽量化のための材料ハテン化と成形性向上の研究開発は将来的にも実施される
- 2) 自動車軽量化を進めるためには、ハテン材料の積極的採用と同時に車体構造の改革が必要である
- 3) 閉断面構造は、車体構造の軽量化、高剛性化の構築に重要な要素技術である
- 4) 接合技術の改革、特に片側溶接技術、連続溶接技術は、自動車軽量化、高剛性化に必要不可欠である