

資料6-4

「革新的新構造材料等研究開発」(終了時評価)

2014年度～2022年度 9年間

プロジェクトの詳細 (公開版)

6.4 革新鋼板を用いたAピラー4部品ASSY

「残留 γ 高度制御革新鋼板の開発」(テーマ番号22)

「残留 γ 相制御中高炭素鋼板の異種・同種材料接合技術の開発」(テーマ番号02)

実施者：株式会社神戸製鋼所 技術開発本部 材料研究所 材質制御研究室 室長
村上 俊夫

2023年 4月21日

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

材料・ナノテクノロジー部

テーマ毎の目標と根拠

・ 残留 γ 高度制御革新鋼板の開発 (テーマ番号22)

主なテーマのみ抜粋

| 研究開発テーマ | 最終目標 | 根拠 |
|---|---|---|
| ① 残留 γ 高度制御による高強度・高延性化技術の開発 (2014～2019年度) | レアメタル量 10wt%未満 引張強度 1.5GPa以上 伸び 20%以上 汎用鋼と同等の耐食性と 水素脆性を旨す | 1.5GPa級にて、プロジェクト開始当時の汎用的な 高強度鋼 (590MPa～980MPa級鋼) と同等の 成形性として設定。 |

・ 残留 γ 高度制御革新鋼板の異種・同種材料接合技術の開発 (テーマ番号02)

| 研究開発テーマ | 最終目標 | 根拠 |
|--|--|--|
| ② 残留 γ 相制御中高炭素鋼のスポット溶接 (2014～2019年度) | 中高炭素鋼板同種接合で JIS-A級同等の継手強度 確保 | テーマ22で開発する残留 γ 高度制御革新鋼板を 自動車ボディに適用するために、JIS規格を満足する 抵抗スポット溶接継手を実現することが必要なため。 |
| ⑮ 革新鋼板製実車体模擬部品の実現 (2021～2022年度) | 実車のAピラーを模擬した 革新鋼板製部品 (Aピラー-ASSY) の実現 | 最新の自動車車体部品への革新鋼板の適用性を 検証するため。 |

テーマ毎の目標達成状況

・ 残留γ高度制御革新鋼板の開発 (テーマ番号22)

主なテーマのみ抜粋

| 研究開発テーマ | 目標 (2023年2月) | 成果 (2023年2月) | 計画との差異 | 今後の課題と解決方針 |
|---|---|--|---|------------|
| ①残留γ高度制御による 高強度・高延性化技術の開発 (2014～2019年度) | レアメタル量<10wt% (Mn等) 引張強度 >1.5GPa 伸び > 20% | ・0.4C-2.0Mnで TS 1.5GPa - EL 20%達成 ・目標相当特性の 大型鋼板を実現 | ◎ 最終目標を前倒し達成 実大部品試作可能な 材料の実現まで進展し 大幅達成と評価 | - |

・ 残留γ高度制御革新鋼板の異種・同種材料接合技術の開発 (テーマ番号02)

| 研究開発テーマ | 目標 (2023年2月) | 成果 (2023年2月) | 計画との差異 | 今後の課題と解決方針 |
|--------------------------------------|--|--|-------------|------------|
| ②残留γ相制御中高炭素鋼のスポット溶接 (2014～2019年度) | 中高炭素鋼板 同種接合で JIS-A級同等の 継手強度確保 | スポット溶接で 対JIS-A級継手 強度同等以上を 達成 | ○ 計画通り達成 | - |
| ⑮革新鋼板製実車体模擬部品の実現 (2021～2022年度) | 実車のAピラー 模擬部品の実現 | Aピラー4部品 Assyを実現 → 展示会に出展 | ○ 計画通り達成 | - |

◎ 大きく上回って達成、○達成、△達成見込み (中間) / 一部達成 (事後)、×未達

残留γ中高炭素革新鋼板の開発-1

革新鋼板開発の目標と当初コンセプト

- 世界最高クラスの特徴を目標に設定

引張強度 : 1.5GPa
 伸び : 20%

- 達成手段

TRIP効果で伸びに寄与する残留γ量増量
 残留γの伸び向上効果を改善

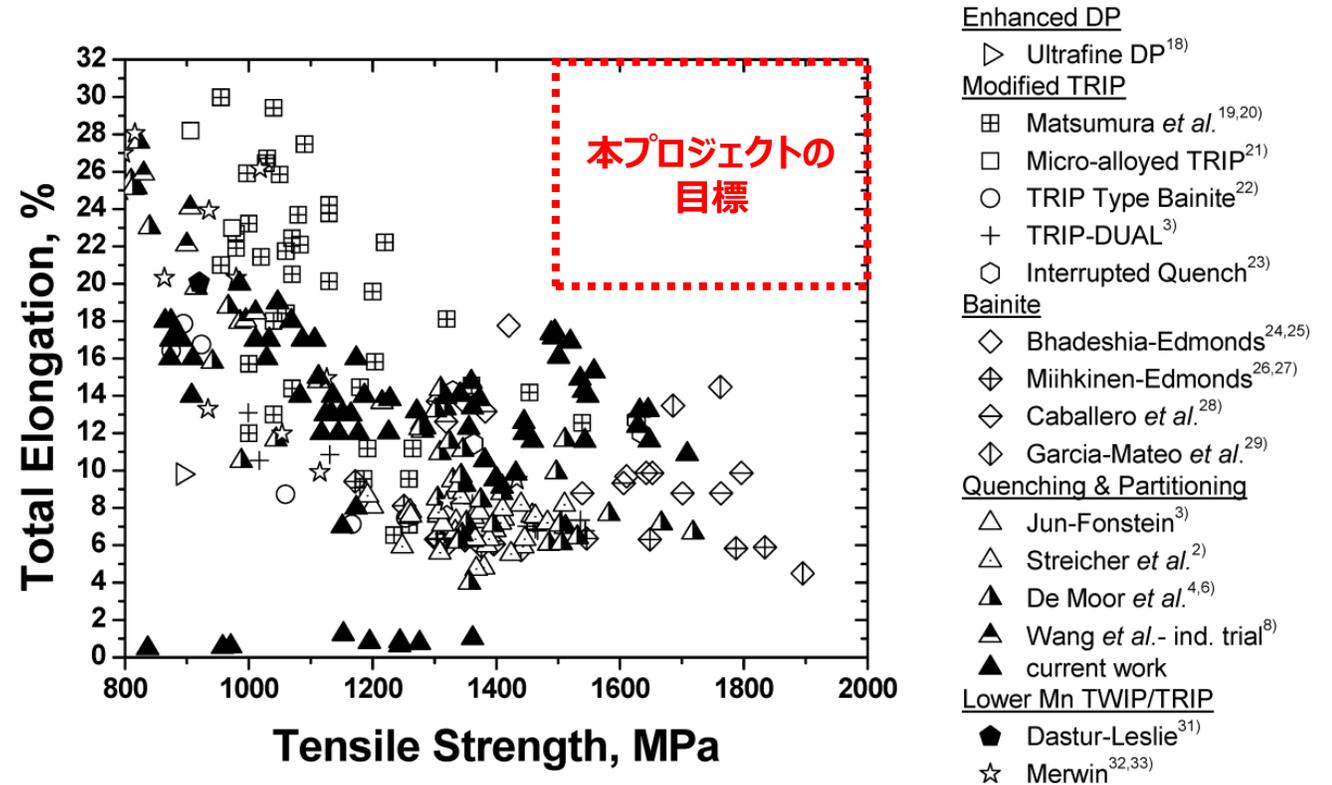


Cの増量 (通常 0.2% → 0.4%)
 残留γ制御による伸び向上効果最大化

Cの増量に伴う溶接性の劣化を
 中高炭素鋼に対応した接合技術を開発することで対応

鋼材開発と接合技術開発を平行して推進

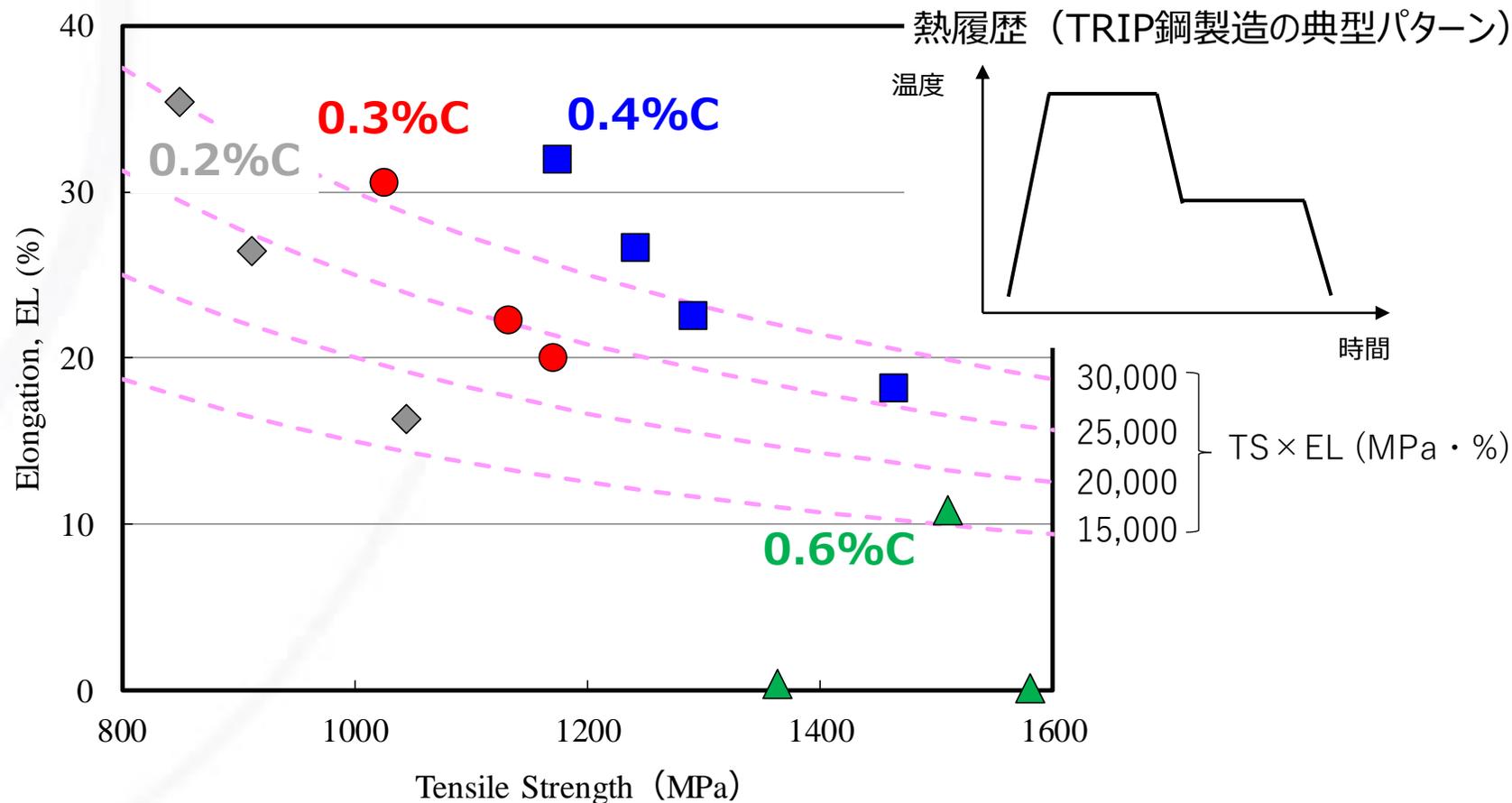
ISMAプロジェクト開始当時の高強度・高延性化に関する取組状況



E. De Moor, et al. : ISIJ International, 51 (2011), p.137.

残留γ中高炭素革新鋼板の開発-2

強度・延性に及ぼす C量の影響



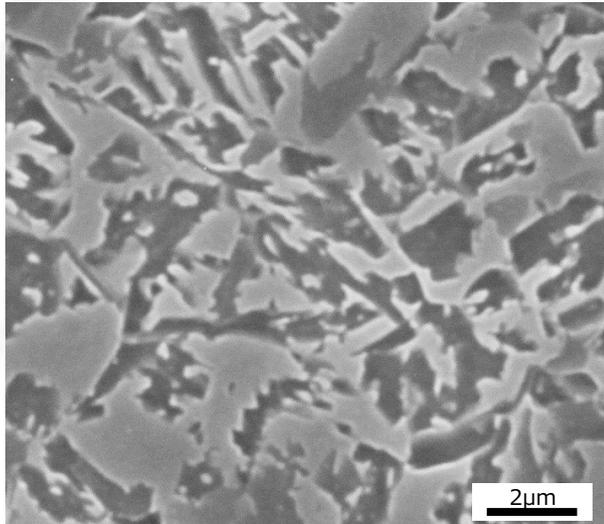
C量が0.4%程度までは強度－伸びバランスが向上。目標に近い特性を確保。

懸念事項：伸び向上に伴う他の成形性（穴広げ率：λ）の劣化

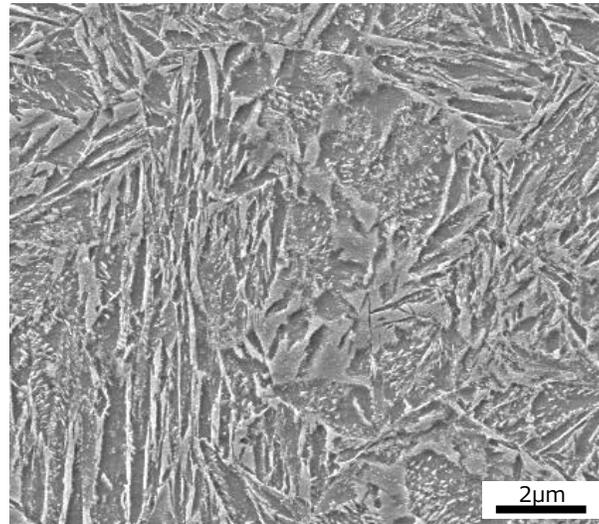
残留 γ 中高炭素革新鋼板の開発-3

組織と特性の関係

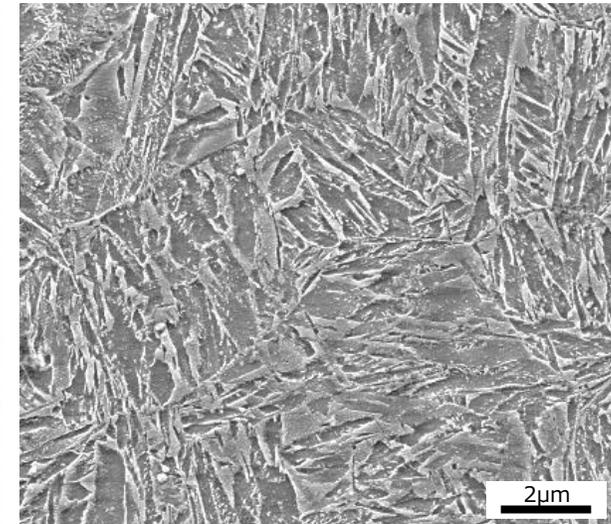
オーステンパ



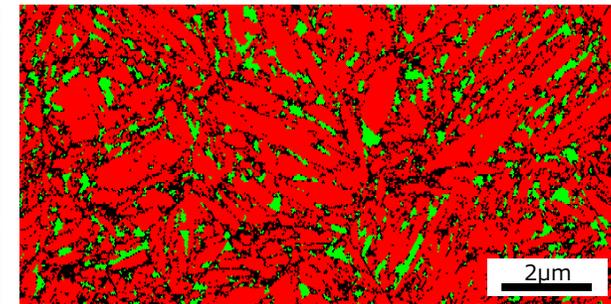
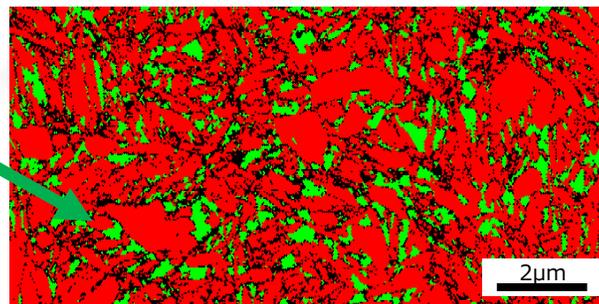
Quench & Partioning
(マルテンサイト+残留 γ)



Quench & Partioning
+ 合金炭化物形成元素



残留オーステナイト



EL = 16%, λ = 0.3%

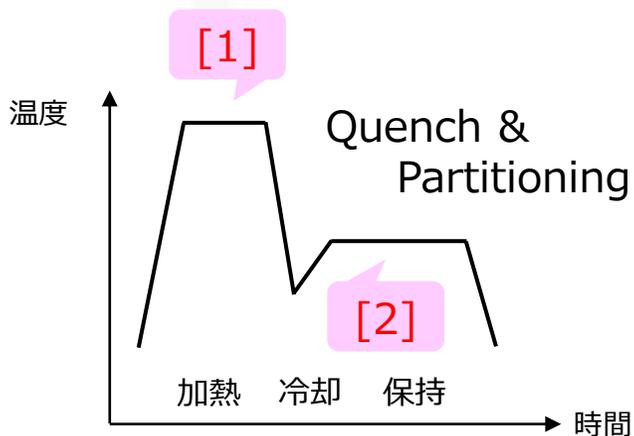
EL = 21%, λ = 13%

EL = **20%**, λ = **26%**

組織微細化により、1.5GPa級で良好な伸びと穴広げ率を兼備

残留γ中高炭素革新鋼板の開発-4

組織微細化の アプローチ



アプローチ [2] に基づき大型鋼板を試作

大型鋼板の機械的特性

| Steel Type | YS 〔%〕 | TS 〔%〕 | EL 〔%〕 | λ 〔%〕 |
|--------------|-----------|-----------|-----------|----------|
| High EL type | 1294 | 1463 | 17 | 24 |
| High YS type | 1384 | 1535 | 14 | 24 |

部品試作に活用

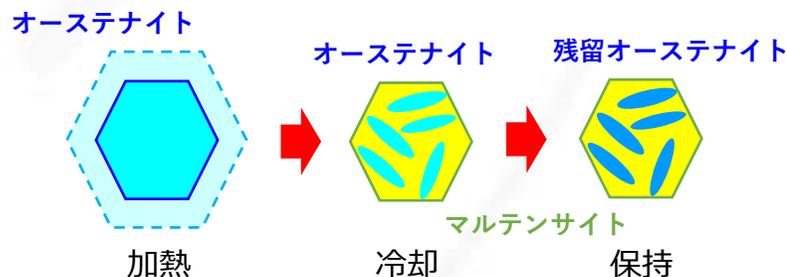
- ・Aピラー
- ・ドアインパクトビーム
(広島分室 (マツダ様) 連携)

1月 Automotive World

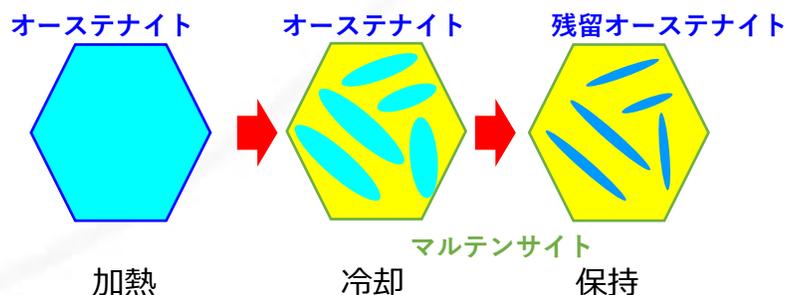
2月 NanoTech展

で展示

[1] 初期組織
(旧γ粒径)
微細化

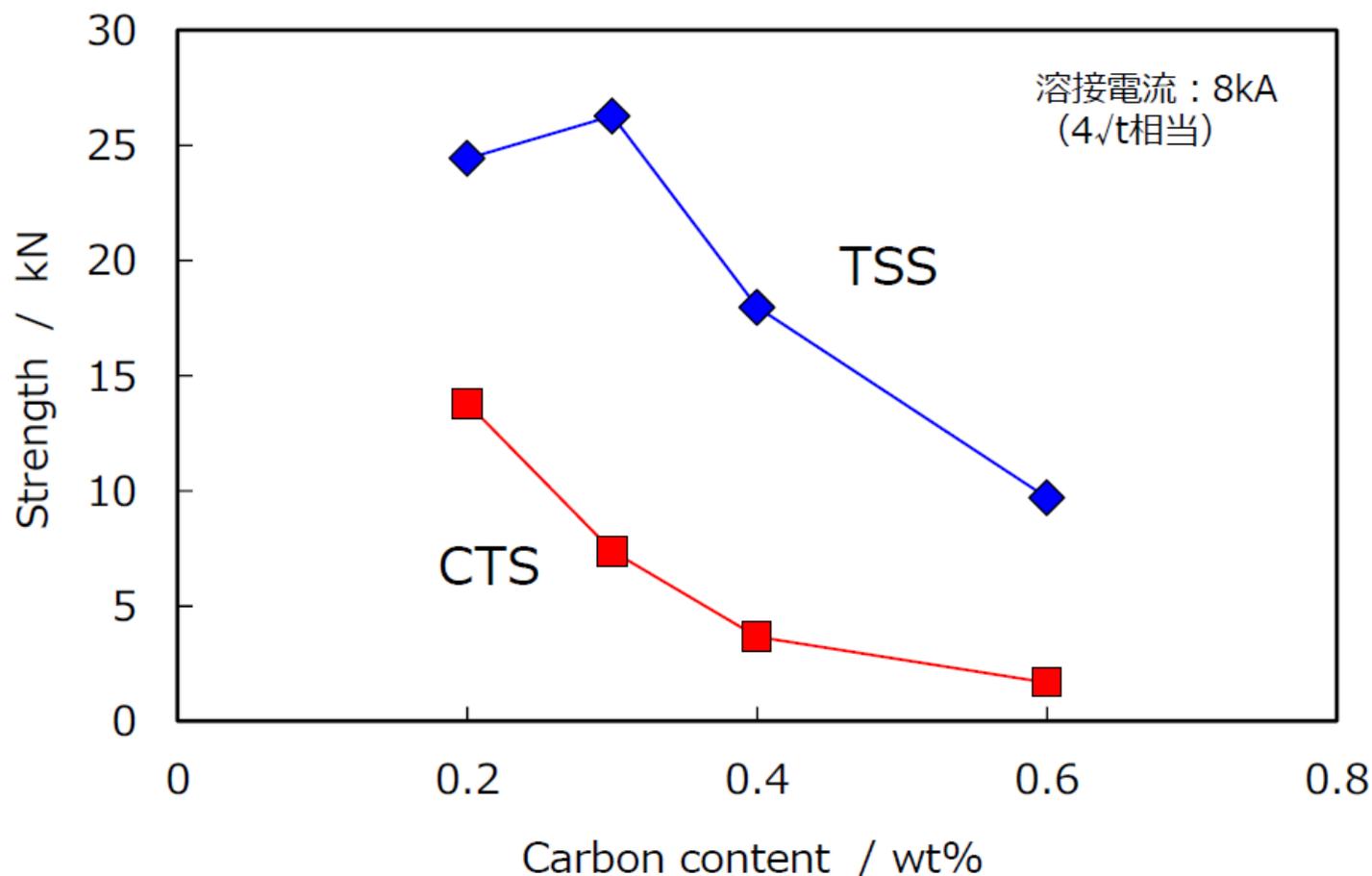


[2] オーステンパ中
の変態促進による
微細化



革新鋼板の接合技術-1

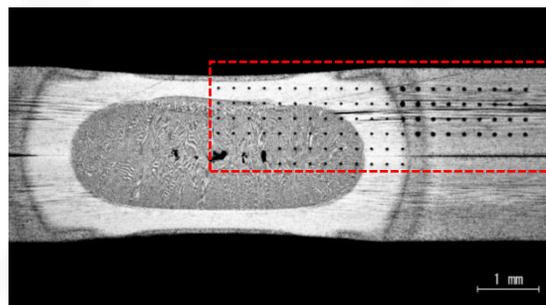
抵抗スポット溶接
継手強度に及ぼす
C量の影響



C量の増加に伴い、引張せん断強度（TSS）、十字引張強度（CTS）が大きく劣化

革新鋼板の接合技術-2

革新鋼板の抵抗スポット溶接 継手強度改善方法



テンパー通電長時間化は
再硬化領域を拡大



**[B] 長時間化
(本通電+テンパー通電 長時間化)**

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 371 | 371 | 374 | 373 | 383 | 382 | 382 | 394 | 413 | 422 | 448 | 405 | 411 | 448 | 467 | 480 | 475 | 486 | 483 | 476 | 483 |
| 687 | 688 | 699 | 684 | 696 | 699 | 685 | 679 | 676 | 618 | 434 | 411 | 380 | 434 | 473 | 475 | 485 | 478 | 476 | 485 | 485 |
| 705 | 668 | 696 | 702 | 660 | 688 | 708 | 717 | 668 | 682 | 682 | 501 | 399 | 432 | 462 | 501 | 483 | 475 | 483 | 478 | 485 |
| 693 | 676 | 685 | 711 | 693 | 693 | 682 | 699 | 691 | 676 | 724 | 688 | 420 | 420 | 470 | 492 | 501 | 497 | 495 | 490 | 508 |
| 705 | 688 | 702 | 671 | 685 | 685 | 696 | 690 | 679 | 702 | 693 | 702 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 690 | 644 | 626 | 696 | 682 | 673 | 665 | 671 | 688 | 702 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

■ 本通電のみ

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 712 | 711 | 702 | 727 | 717 | 714 | 720 | 711 | 714 | 717 | 720 | 480 | 433 | 476 | 508 | 501 | 497 | 486 | 494 | 490 | 494 |
| 682 | 688 | 706 | 681 | 730 | 699 | 698 | 707 | 727 | 714 | 714 | 702 | 418 | 480 | 519 | 497 | 494 | 497 | 492 | 499 | 490 |
| 720 | 699 | 688 | 699 | 720 | 703 | 671 | 673 | 685 | 699 | 693 | 702 | 429 | 452 | 523 | 521 | 502 | 497 | 494 | 494 | 504 |
| 688 | 724 | 676 | 689 | 690 | 679 | 705 | 673 | 688 | 646 | 717 | 730 | 636 | 442 | 521 | 508 | 492 | 495 | 495 | 506 | 497 |
| - | - | - | - | 671 | 690 | 693 | 699 | 693 | 660 | 679 | 717 | 668 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| - | - | - | - | 682 | 660 | 641 | 649 | 690 | 662 | 717 | 720 | 688 | - | - | - | - | - | - | - | - |

溶接部が硬化・脆化

テンパー通電で
Ac3以上に加熱された
領域は再硬化

テンパー通電多段化で
再硬化領域を
軟質化



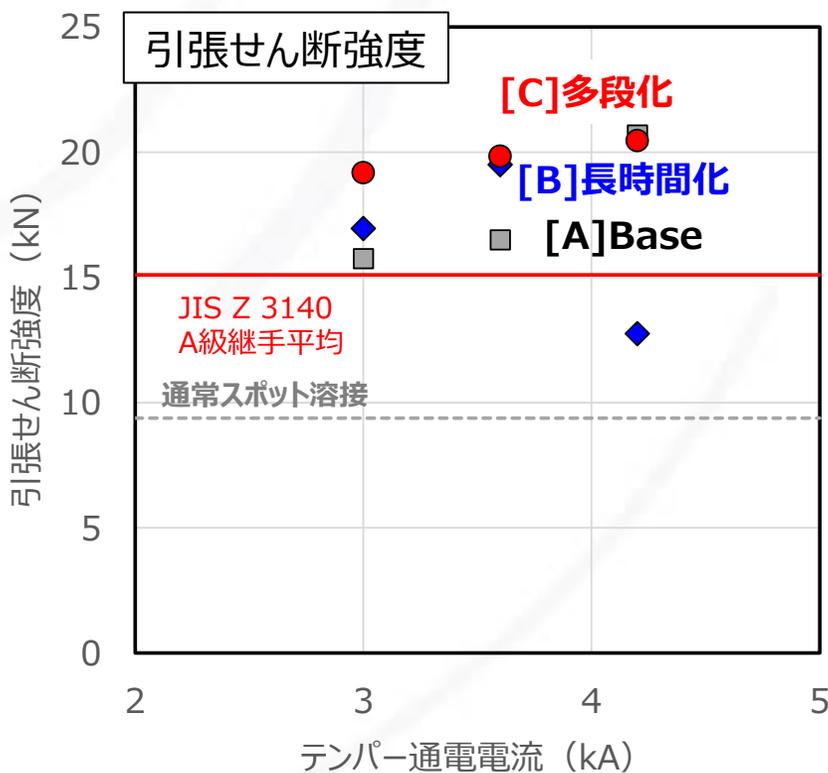
**[C] 多段化
(本通電+テンパー通電 2段通電化)**

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 563 | 561 | 574 | 561 | 565 | 555 | 563 | 572 | 574 | 555 | 557 | 557 | 403 | 436 | 480 | 494 | 492 | 480 | 481 | 463 | 483 |
| 446 | 430 | 454 | 480 | 453 | 444 | 457 | 470 | 475 | 488 | 508 | 525 | 497 | 418 | 470 | 494 | 475 | 476 | 481 | 483 | 475 |
| 480 | 485 | 478 | 476 | 459 | 445 | 414 | 412 | 424 | 437 | 457 | 494 | 521 | 395 | 473 | 492 | 478 | 476 | 467 | 478 | 485 |
| 494 | 495 | 476 | 480 | 483 | 494 | 470 | 460 | 423 | 408 | 421 | 448 | 494 | 403 | 463 | 501 | 483 | 481 | 478 | 475 | 485 |
| 467 | 467 | 460 | - | 475 | 467 | 476 | 463 | 467 | 424 | 373 | 432 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 459 | 433 | - | - | 459 | 457 | 465 | 468 | 470 | 430 | 377 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

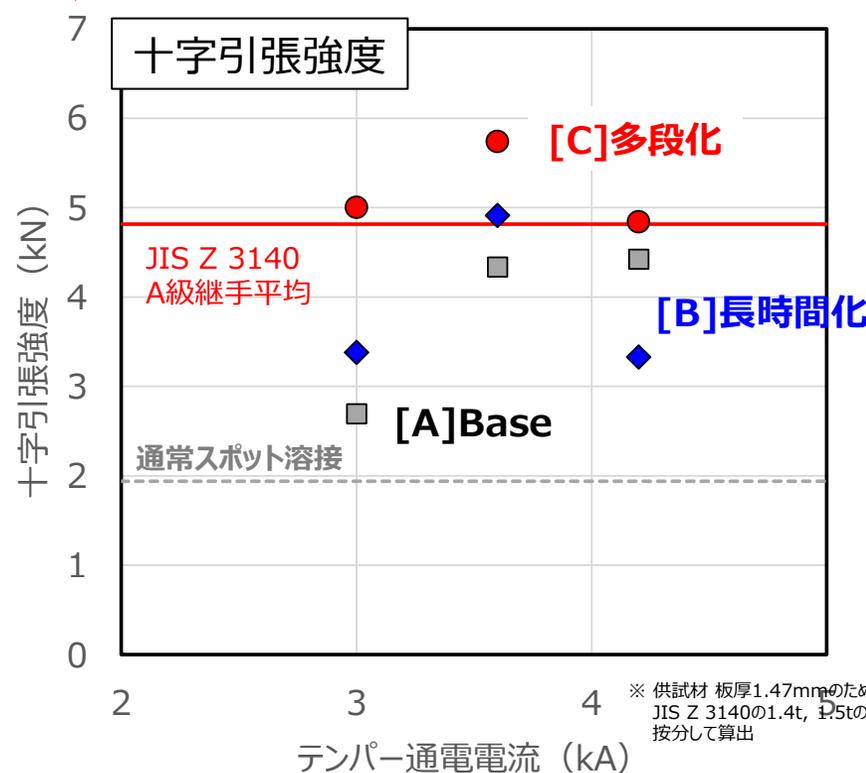
革新鋼板の接合技術-3

革新鋼板の抵抗スポット溶接 継手強度改善方法

通常スポット ➡ [A]Base スポット溶接+テンパー通電



[B]長時間化 スポット溶接+テンパー通電 長時間化
[C]多段化 スポット溶接+多段 テンパー通電



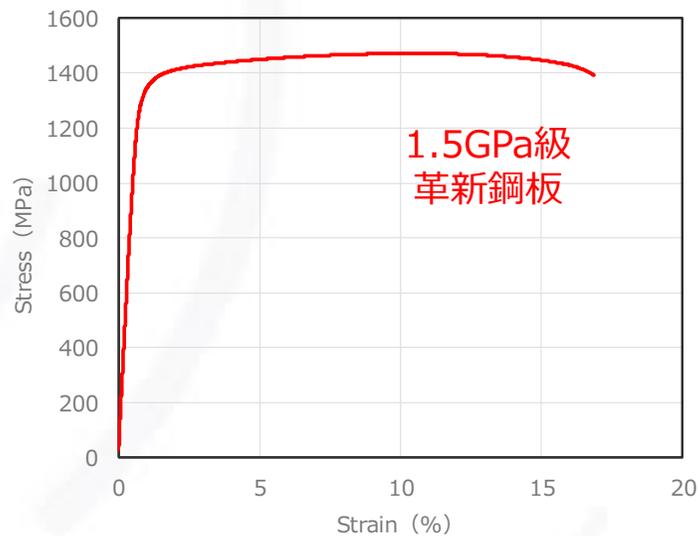
※ 供試材 板厚1.47mmのため
JIS Z 3140の1.4t, 1.5tの基準値を
按分して算出

多段テンパー通電により革新鋼板でJIS A級継手相当の特性を実現

革新鋼板を活用した部品試作-2

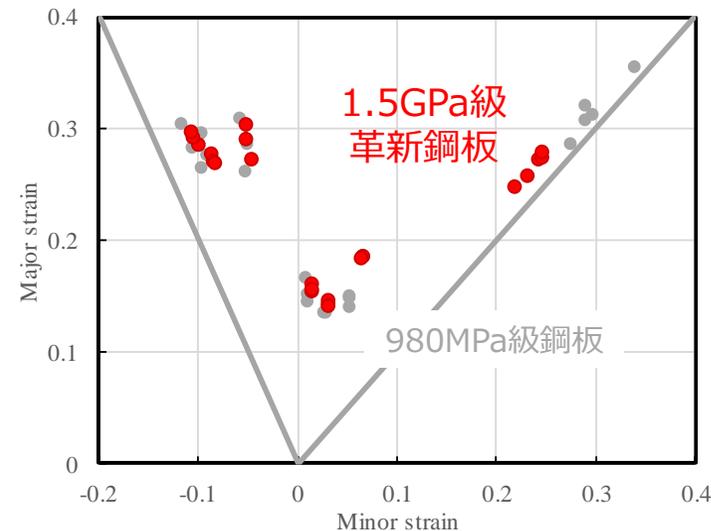
革新鋼板の 材料DBの構築

応力-歪線図



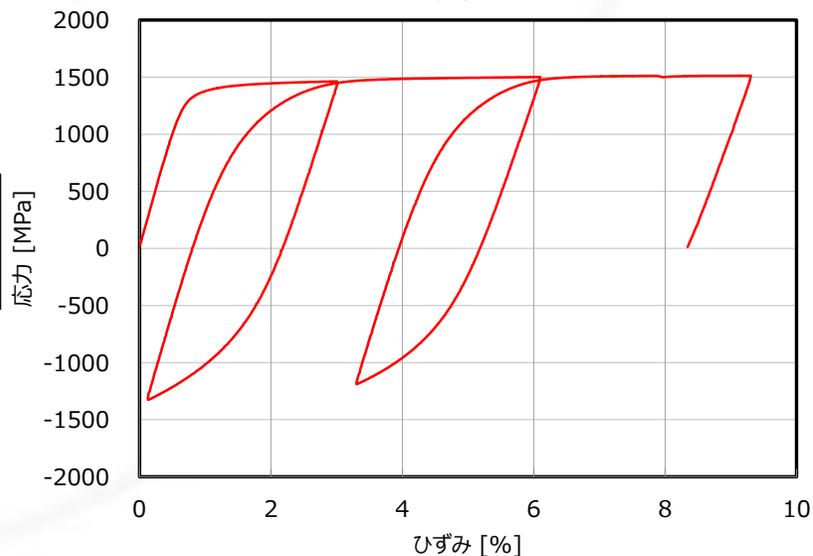
成形限界線図

成形解析時の
破断限界を示す



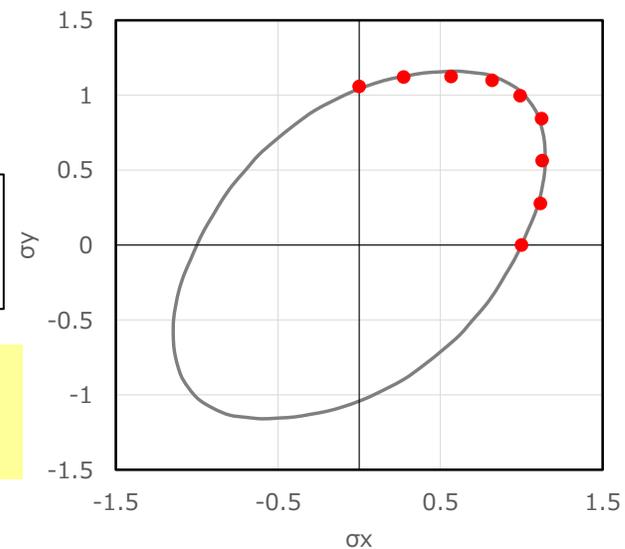
サイクリック試験
(吉田-上森モデル)

スプリングバックの
予測精度向上



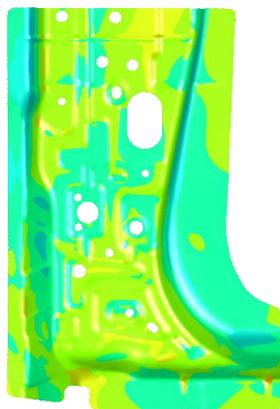
2軸引張試験結果と
降伏関数計算値

成型時の鋼板特性の
異方性を考慮



革新鋼板を活用した部品試作-3

革新鋼板を用いた実部品試作

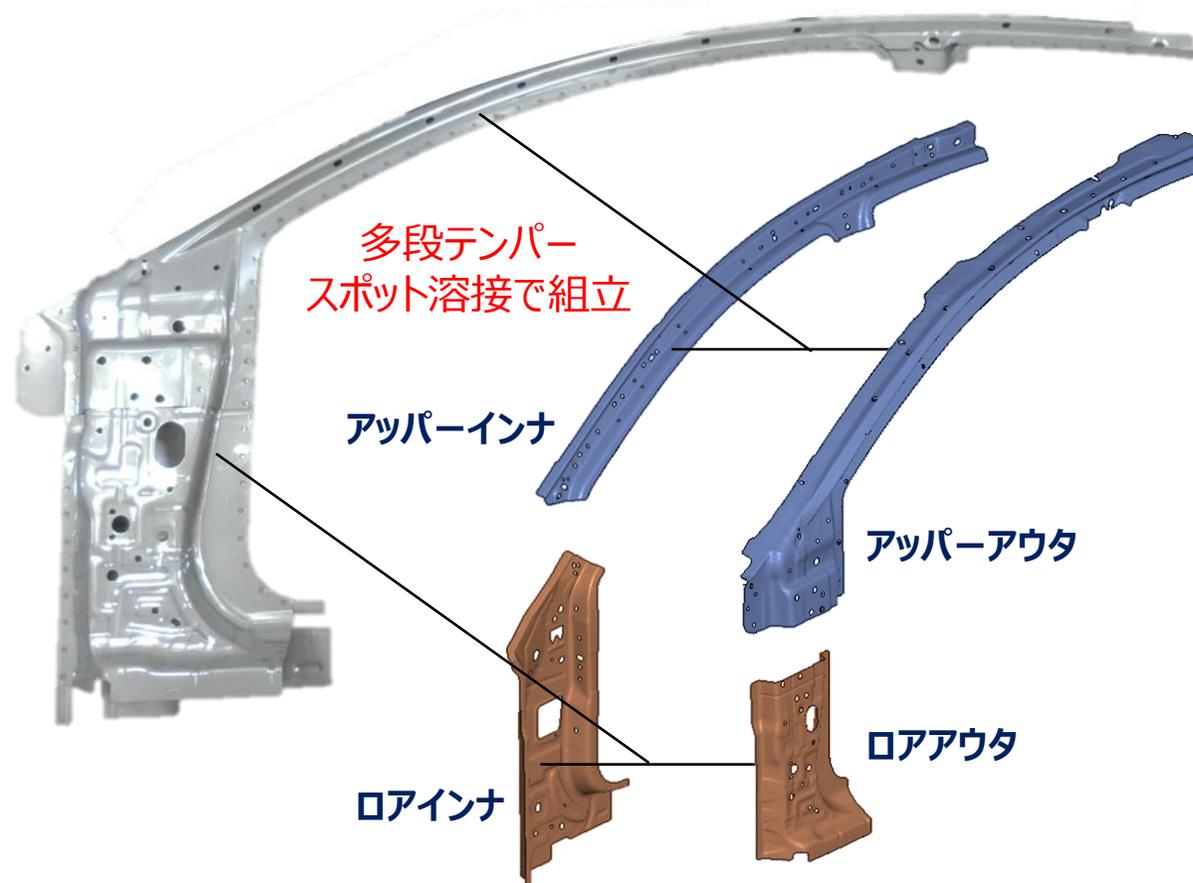


目標形状
通り

精度 3mm以内で
プレス部品作製

革新鋼板製Aピラーロアアウト

革新鋼板製 Aピラー-4部品ASSY部品



革新鋼板 (1.5GPa級冷延鋼板) 製 Aピラー-ASSY部品を実現

革新鋼板の実用化に向けた取り組み

2030年までの社会実装への道筋

【革新鋼板】

ユーザに対して、本プロジェクトで得られた革新鋼板に関する知見を提示、議論を通じて革新鋼板に求められる項目や周辺技術を抽出し、その課題を解決を進めることで社会実装を目指す。

【接合技術】

革新鋼板をユーザに提供する際のソリューション技術として提示することで、革新鋼板と合わせて社会実装を目指す。革新鋼板同様に求められる個別の技術課題に対応するための技術開発を進めていく。