

自動車用金属材料

東北地域ものづくり企業基礎力向上セミナー

「平成29年度地域中核企業創出・支援事業

（とうほく自動車関連部素材産業競争力強化事業）」

ものづくり基礎講座（第55回技術セミナー）

東北大学金属材料研究所

正橋 直哉

2018.3.23（月）13:35～14:15

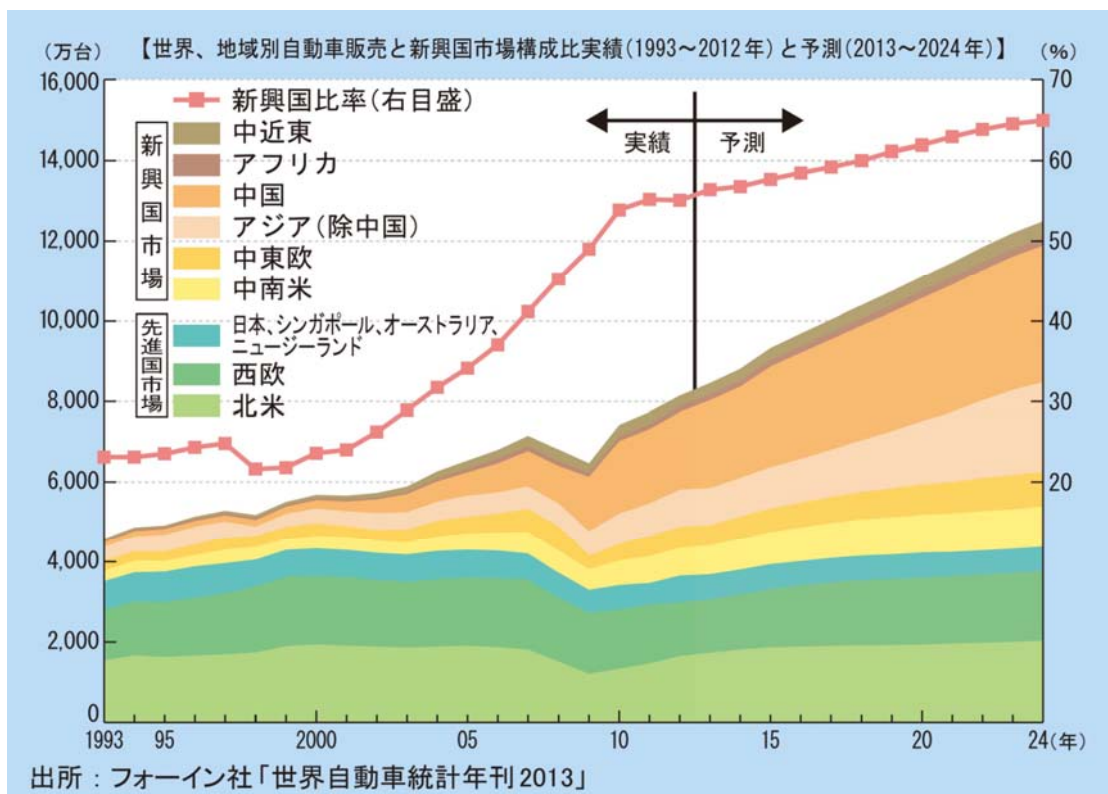
東北大学金属材料研究所 講堂

1

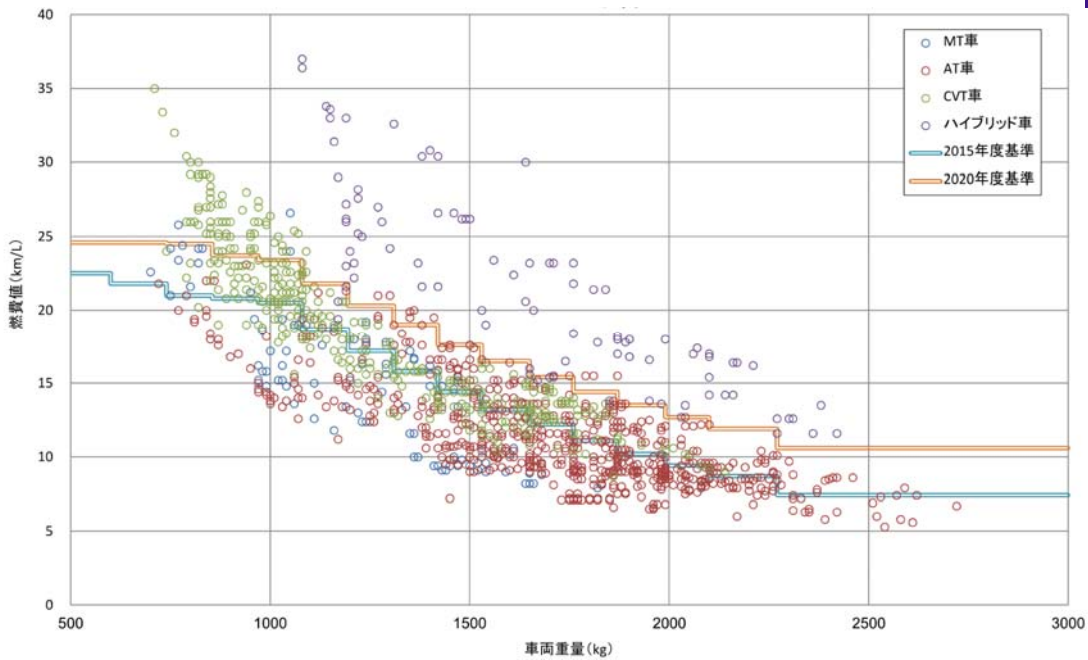


世界の自動車販売台数

第55回技術セミナー
2018. Mar. 23, 13:35~14:15 正橋直哉



2



変速機形式や駆動形式に拠らず、車体重量の増加と共に燃費が悪化していることから、**車体の軽量化が燃費向上の有効な手段であることがわかる。**

車両重量と燃費の関係(http://www.mlit.go.jp/jidosha/jidosha_fr10_000019.html)

3

世界の自動車市場の状況

○ 国際自動車工業連合会によると、2017年の世界新車販売台数は8889万台で、最大市場の中国が約2100万台と約3割を占めた。米国が1789万台で続き、日本は497万台と3位だった。中国市場は近年米国を抜いて第1位になった。中国市場は近年米国を抜いて第1位になった。中国市場は近年米国を抜いて第1位になった。

中国リードインドも拡大中

○ 中国は規模拡大に力を入れている。トヨタ自動車は10年連続で販売台数を伸ばしている。トヨタ自動車は10年連続で販売台数を伸ばしている。トヨタ自動車は10年連続で販売台数を伸ばしている。

世界の新車販売台数

国	販売台数(万台)	割合(%)
中国	2100	23.6
米国	1789	20.1
日本	497	5.6
インド	366	4.1
ドイツ	370	4.2
フランス	247	2.8
韓国	247	2.8
ブラジル	247	2.8
ロシア	247	2.8
その他	247	2.8

EV普及で「鉄」はいらない?

使用量減っても質に商機

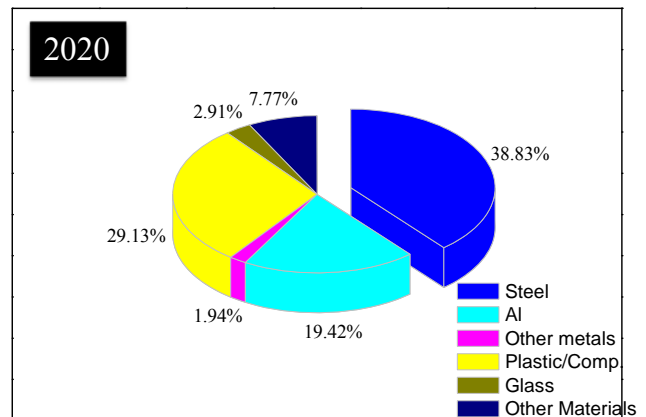
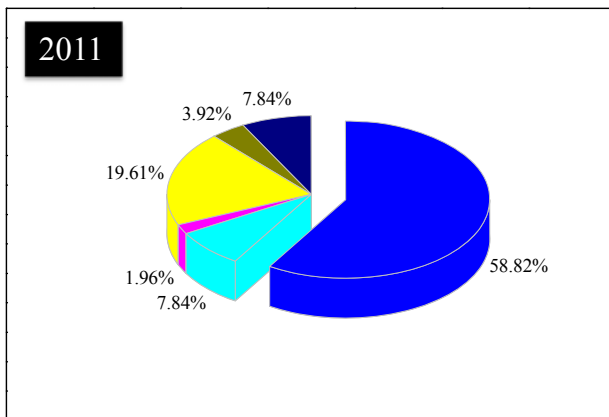
新日鉄住金社長 進藤 孝生氏

「鉄」は自動車産業にとって重要な材料である。EVの普及により、鉄の使用量が減少する可能性がある。しかし、鉄の質に商機がある。鉄の質を向上させることで、鉄の使用量を減らすことができる。鉄の質を向上させることで、鉄の使用量を減らすことができる。

「車の激動期 研究と創造カギ」

豊田章一郎氏が講演

トヨタ自動車の豊田章一郎社長が講演した。豊田氏は「車の激動期 研究と創造カギ」と題して講演した。豊田氏は「車の激動期 研究と創造カギ」と題して講演した。



出所：OICA「Steel Perspectives for The Automotive Industry」

- ① 鉄鋼主体から、Al・Mg・複合材等の軽量素材が増加する。
- ② 高張力鋼を含む軽量化材の占める割合が今後20年間で2倍に増える。
- ③ 各材料の高性能化やコスト低減等の開発と共に、これら材料の組み合わせによる最適化が図られる。
- ④ その結果、異種材料の接合技術、異なる特性の同一素材の複層化技術、異種材料からなる複合化技術へのニーズが高まる。



世界初の全鋼製モノコックフレームのランチアラムダ (1922年)



日本初の量産モノコック構造車の富士重工業スバル360 (1958年)



世界初の量産オールアルミモノコックのホンダNSX (1990年)



フロントバンパー・ヒームに780MPaハイテンを採用ホンダストリーム (2006年)

軽量化は絶対ゴールだが、安全性を考えると金属は必須



軽量金属としてAlやMgの比率を高める



高強度のSteel材料を開発する

軽量素材とSteelの混用が不可欠



高強度材料の成型加工性の確保

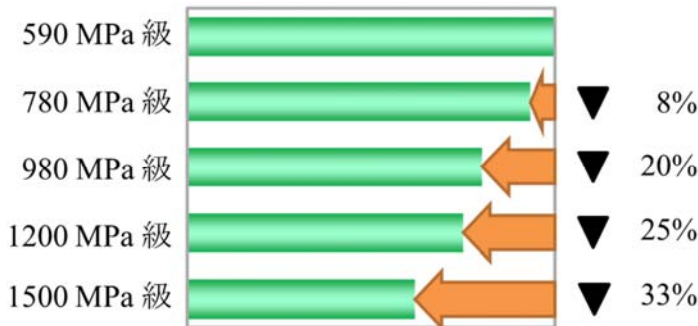
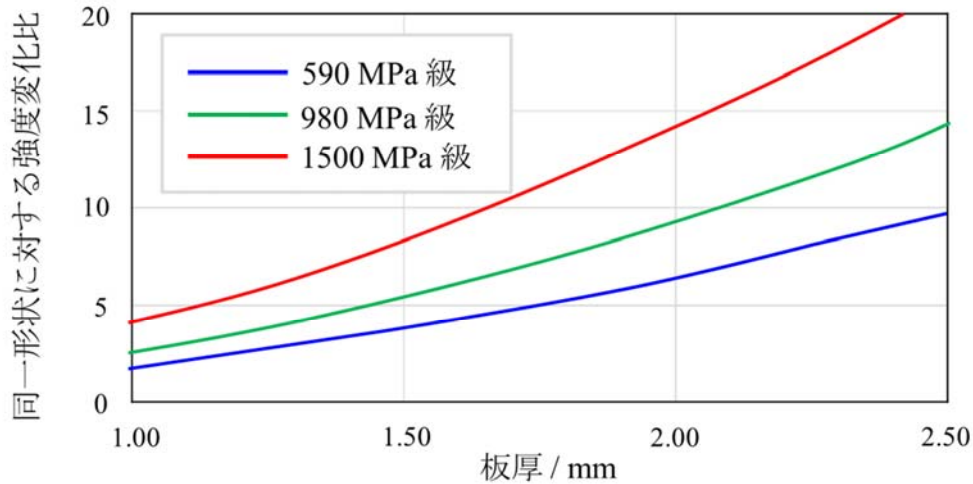


異種材料間の接合技術と成型加工技術が必要

完成車メーカーはコンセプトカーを製造しつつ軽量化材料の開発に取り組んでおり、ハイテンやアルミニウムで最大40%、マグネシウムやCFRPで最大70%程度のボディの軽量化が可能

	自動車名称	比較対象車体重量 (kg)	軽量化対象車体重量 (kg)	従来鋼に対する重量減割合 (%)	価格 (円)	ボディの重量減割合 (%)	車体全体の重量減割合 (%)	価格 (円)	出所
ハイテン	ULSAB-AVC (PNGV:2500cc) (シミュレーション値)	1470kg (Audi A6, Daimler Chrysler)	998kg	-32% <small>※2002年時点のデータであるため最新のデータと異なる</small>	90万円(\$9538)	-40%	-10%	数100万円	スチール製超軽量車プロジェクトの開発成果 2002/01/31
	FSV BEV (Future Steel Vehicle) (EVシミュレーション値)	(鉄ボディ:290kg)	(ボディ:188kg)	-12% <small>※ボディは車体全体の33%と仮定</small>	-	-40%	-10%	数100万円	日本経済新聞 2011/10/5
アルミニウム	NSX (量販車)	1490kg (鉄ボディ:350kg)	1350kg (ボディ:210kg)	-10% (ボディ:-40%)	800~1300万円	-40%	-10%	約1000万円	ホンダプレスリリース 1990/9/13
	インサイト (量販車)	908kg (鉄ボディ:270kg)	800kg (ボディ:162kg)	-11% (ボディ:-40%)	210万円	-40%	-10%	約1000万円	ホンダプレスリリース 1999/07/07
	メルセデス・ベンツ SLクラス (量産車)	1970kg (鉄ボディ:364kg)	1845kg (ボディ:254kg)	-6% (ボディ:-30%)	1190万円	-40%	-10%	約1000万円	メルセデス・ベンツプレスリリース 2012/03/18
マグネシウム	GM:シャーンシステム (プロトタイプ)	-	-	-6% (鉄比:-58%, Al比:-30%) <small>※シャーンシステム全体の10%と仮定</small>	-	-70%	-20%	-	GM公開資料 2012/05/23
	GM構造材	-	-	(構造材:-75%) <small>※構造材は車体全体の26%と仮定</small>	-	-70%	-20%	-	GM公開資料 2012/10/23
CFRP	レクサスLFA (CFRP:65%, Al:35%) (モデルカー)	1775kg (Alボディ:293kg) (Feボディ:488kg)	1480kg (ボディ:193kg)	-17% (Alボディ比:-34%)	3750万円	-70%	-20%	約3000万円	トヨタプレスリリース 2011/10/03
	レクサスLFA (CFRP:100%) (試算値)	1775kg (Alボディ:293kg) (Feボディ:488kg)	1426kg (フルCFRPボディ:139kg)	-20% (ボディ:-71%)	-	-70%	-20%	約3000万円	トヨタプレスリリース 2011/10/03
	BMW i3 (量販車EV)	-	1250kg	-	500万円 (予定)	-	-	-	BMW i. Born electric 10/9 2012/10/09

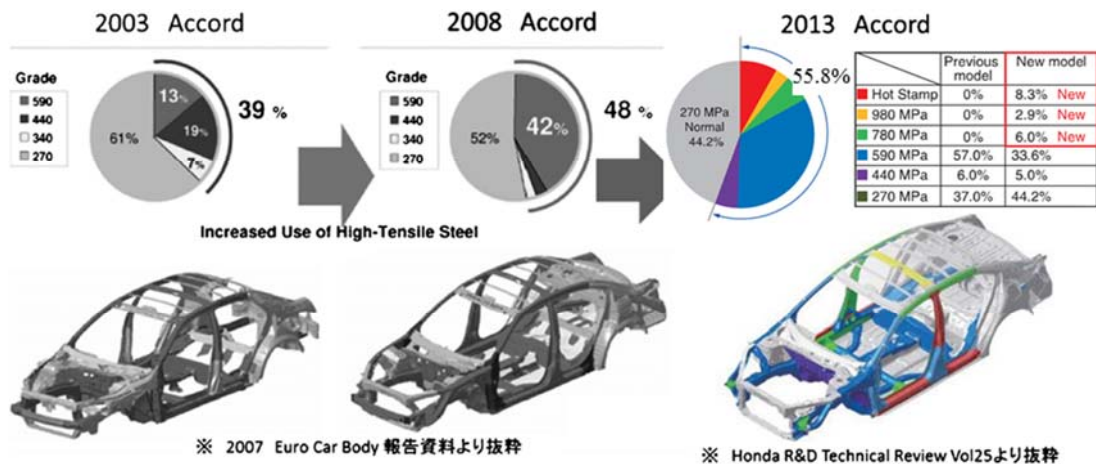
※灰字はADL試算により導出



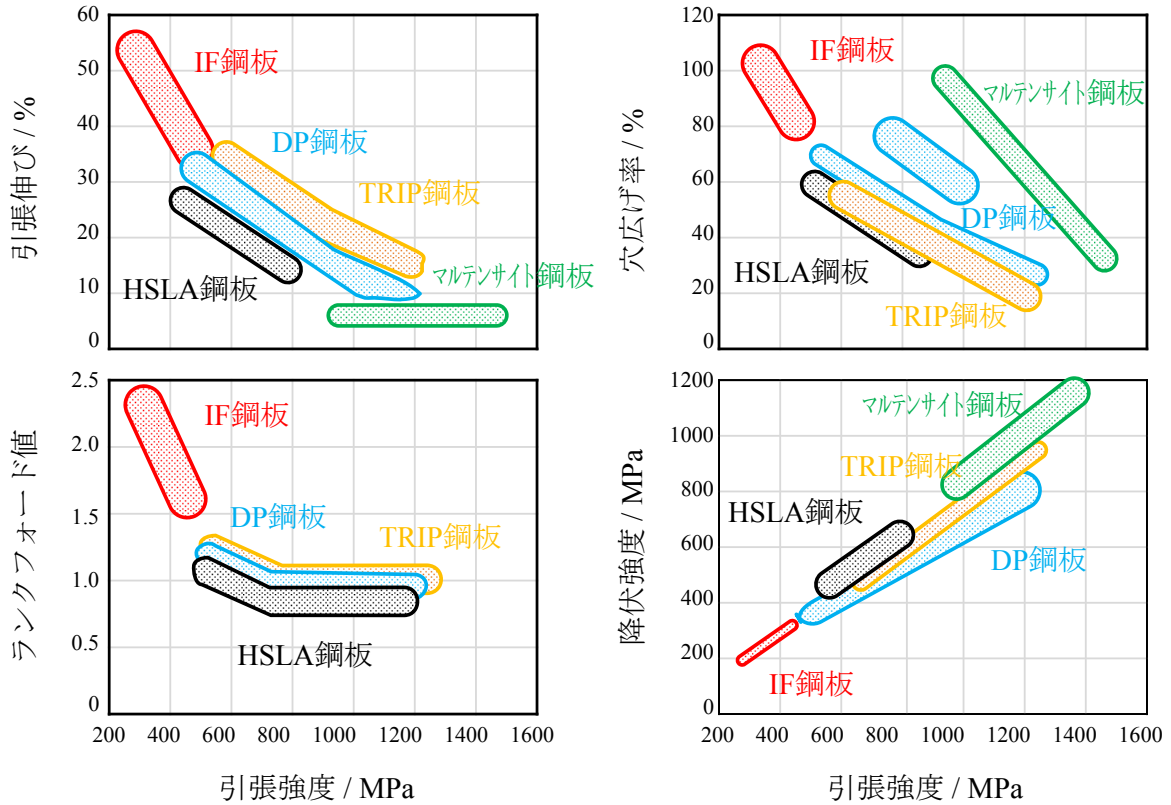
まてりあ 53 (2014)584-588

590 MPa 級ハイテン材と1500 MPa 級ハイテン材の強度比を等価とすると考えた場合、590 MPa 級では2.4 mm 必要であった板厚が、1500 MPa 級に置換することにより1.6 mm で同じ強度を持たせることが出来ることができ、強度を約2.5倍にすれば、約33%の板厚=重量が削減できる

9

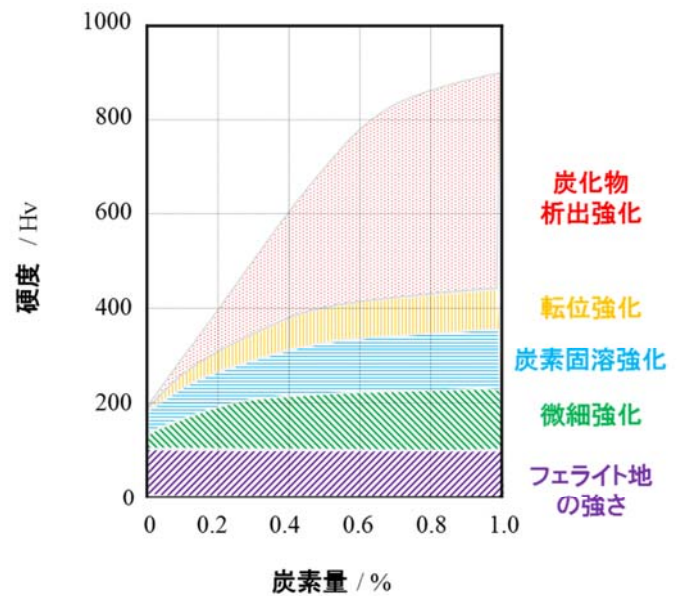
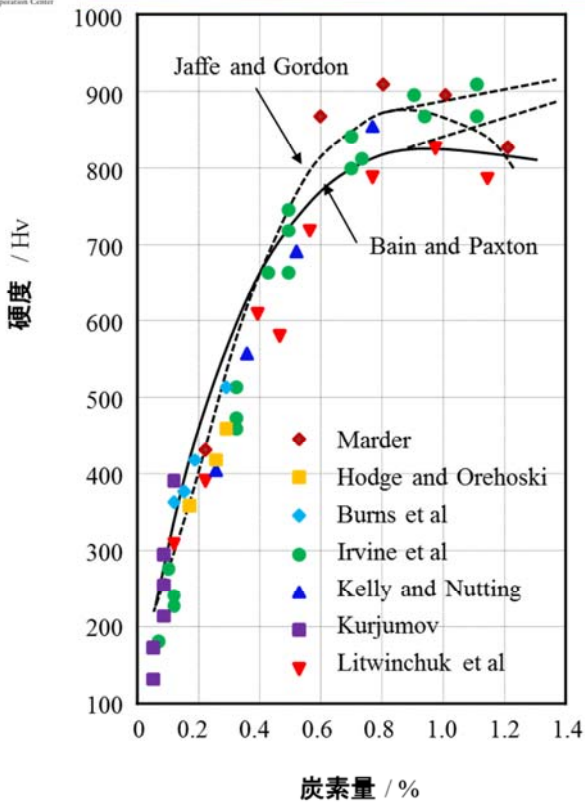


- ① ハイテン化率は2003年度は40%、2008年度は48%、2013年度は約56%と年々増加。
- ② ハイテン材のグレードは2003年度は590 MPa 級の使用比率が13%、2008年度は42%、2013年度は34%に低下したが780 MPa 級や980 MPa 級、ホットスタンプ材(1500 MPa 級)等が適用されてきた。



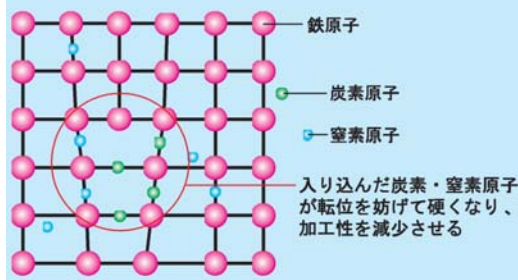
ふえらむ 18 (2013) 48_53

11

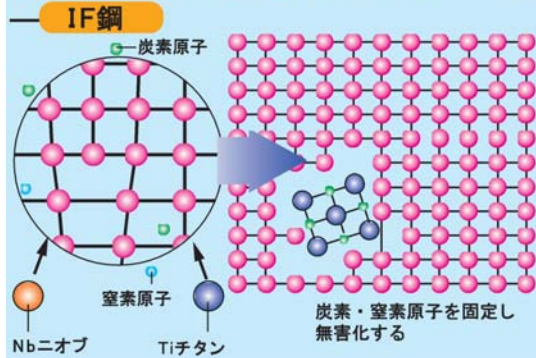


Fe-Cマルテンサイトにおける各強化機構の寄与

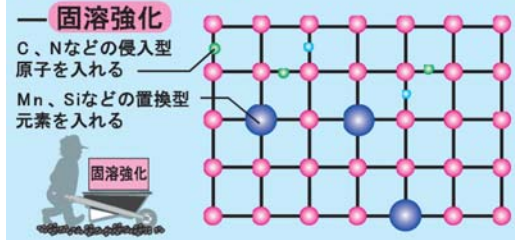
炭素や窒素が入り込み、硬くなる鉄 図4



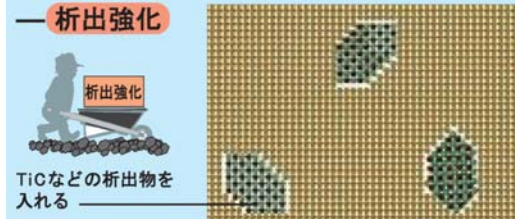
化合物をつかって軟らかい鉄に 図5



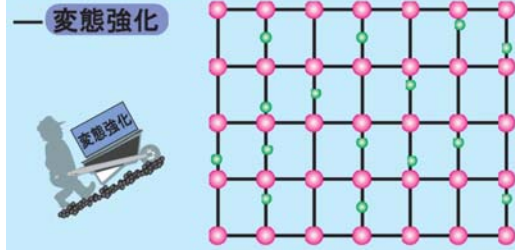
SiやMnを入れる 図6



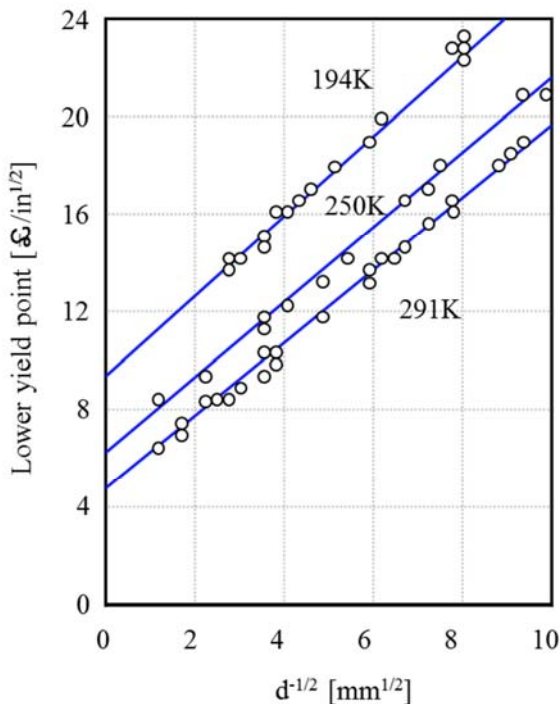
さらに大きな析出物を入れる 図7



結晶の状態を変える 図8

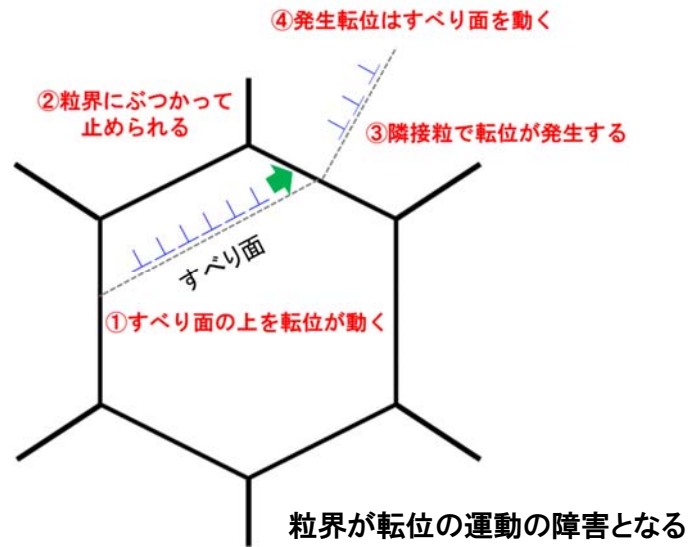


<http://www.nssmc.com/company/nssmc/science/pdf/V1.pdf>



純鉄の降伏応力の粒径依存性

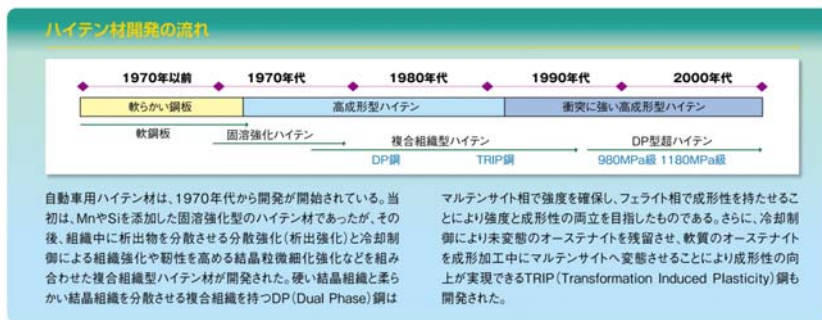
N.J. Petch, Phil Mag., 3(1958)1089



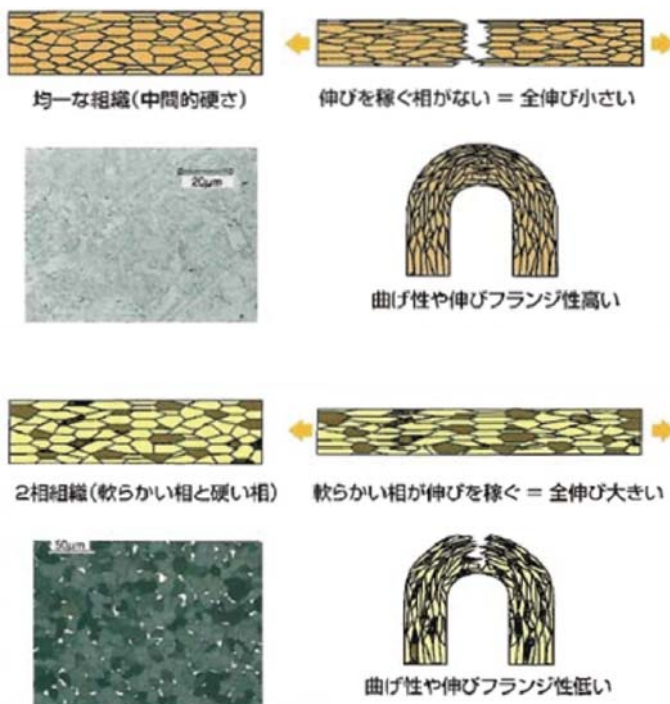
$$\sigma_y = \sigma_0 + k_y \cdot d^{-1/2} \dots \text{ホールペッチの式}$$

降伏応力 結晶粒径
↑ ↑
材料定数

- ① 高張力鋼 (High Tensile Strength Steel) とは合金成分や組織の制御により、一般鋼材よりも強度を向上させた鋼材で、ハイテンあるいは高抗張力鋼と称する。
- ② おおむね490 MPa程度以上のものを称し、590 MPa、780 MPa程度が主流だが、近年は1,000 MPa以上のものもある (超高張力鋼)。
- ③ 同一強度を確保するには、一般鋼材を用いる場合に比べて 薄肉化できるため、主要構造部材の軽量化に貢献する。
- ④ プレス時は成形不良が発生しやすい。 また、ヤング率は一般鋼と大差無いため、弾性変形による歪発生が嫌われる部位には、薄肉化を適用出来ない。



https://y100.isij.or.jp/ferrum/PDF/PDFOpen.php?PNAME=SEC/VOL01805/2013_Vol.018_No.05_0220.pdf



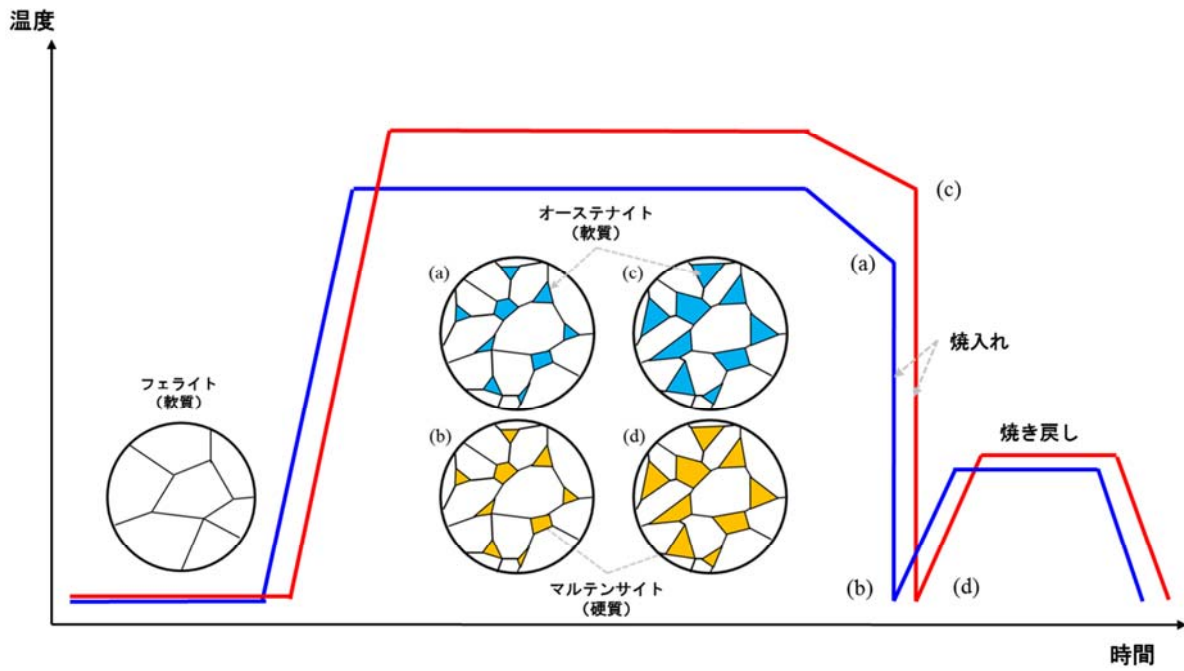
① 高強度と成形性を両立させるために、**軟らかい組織の中に固い組織を分散させる複合組織化**を採用する。

☞ **複合組織の有効性**

② 局部的に大きな変形が必要なフランジ成形性や曲げ性が要求される、骨格構造材やシャシー系部材では、**応力集中回避可能な均一組織が有利。**

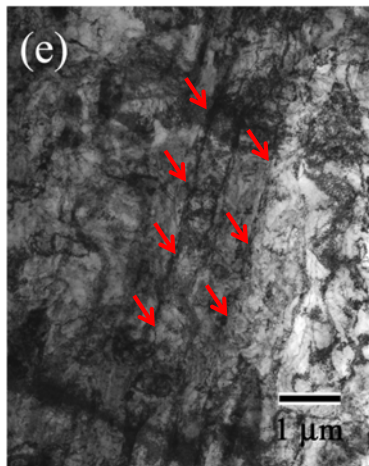
☞ **均一組織の有効性**

https://y100.isij.or.jp/ferrum/PDF/PDFOpen.php?PNAME=SEC/VOL01805/2013_Vol.018_No.05_0220.pdf



- ① 低温焼き戻し (青線) : 硬質マルテンサイト量多い → 曲げ変形部材用
- ② 高温焼き戻し (赤線) : 硬質マルテンサイト量少ない → 絞り変形部材用

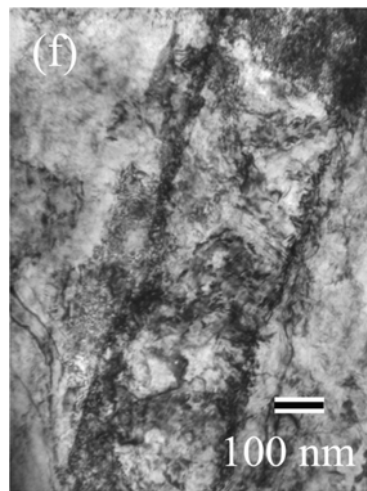
17



強加工したFe-Mn-C合金組織



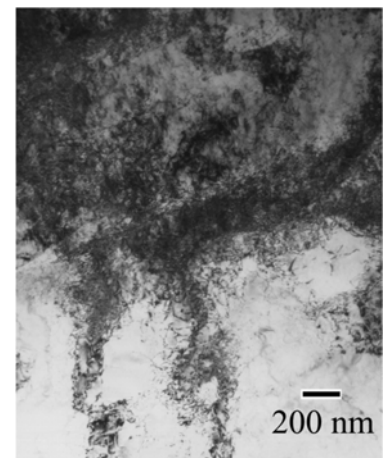
多量の転位が複雑に絡み合いセル境界を形成する



左のセル境界近傍



境界の転位密度は特に高い

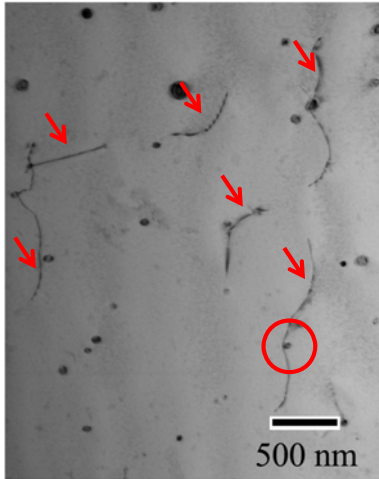


強加工したFe-Cr-Mo組織



セル境界は存在しない

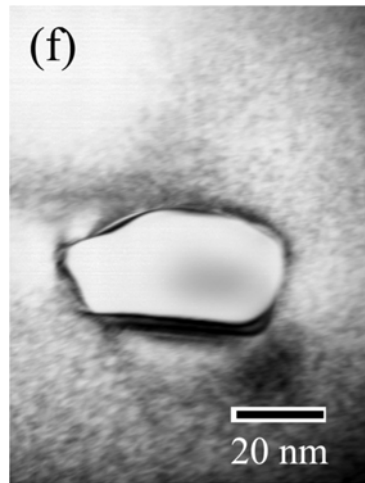
18



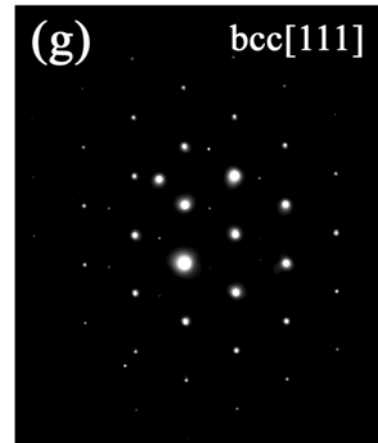
Fe-Nb-C合金中の転位



転位が析出物に拘束されている



左写真赤丸の析出物

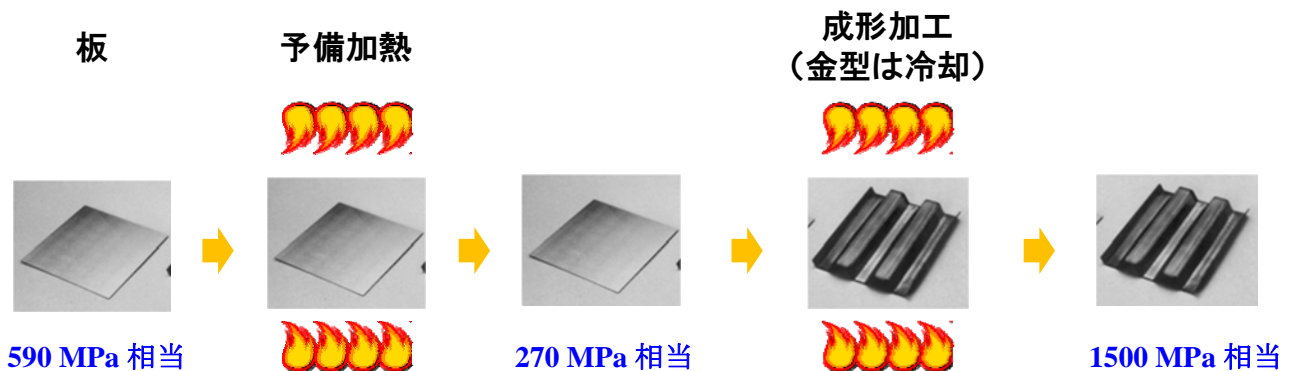


析出物の電子線回折

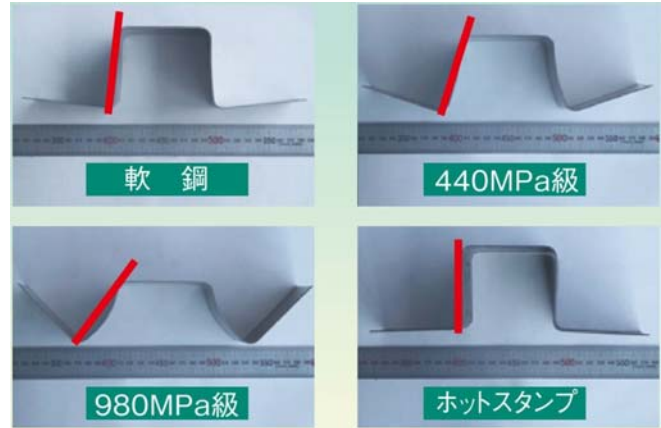
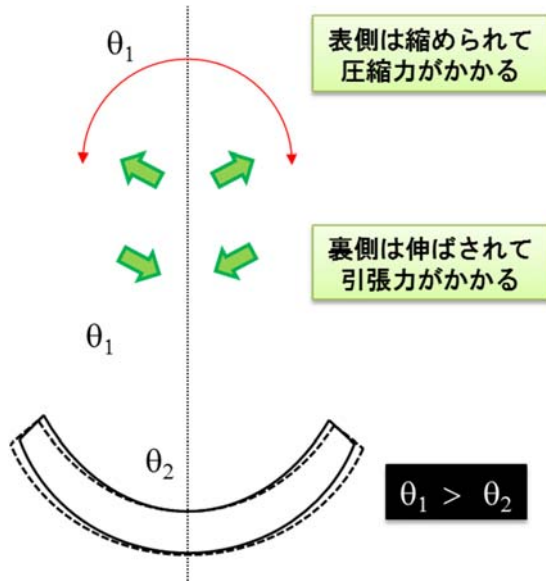


析出物はNbC

オーステナイト変態点(830° C)以上に加熱した鋼板を金型にて成形と急冷却を同時に行うことで成形と焼入れ処理を施す成形技術で、1500 MPa級の強度を有する。



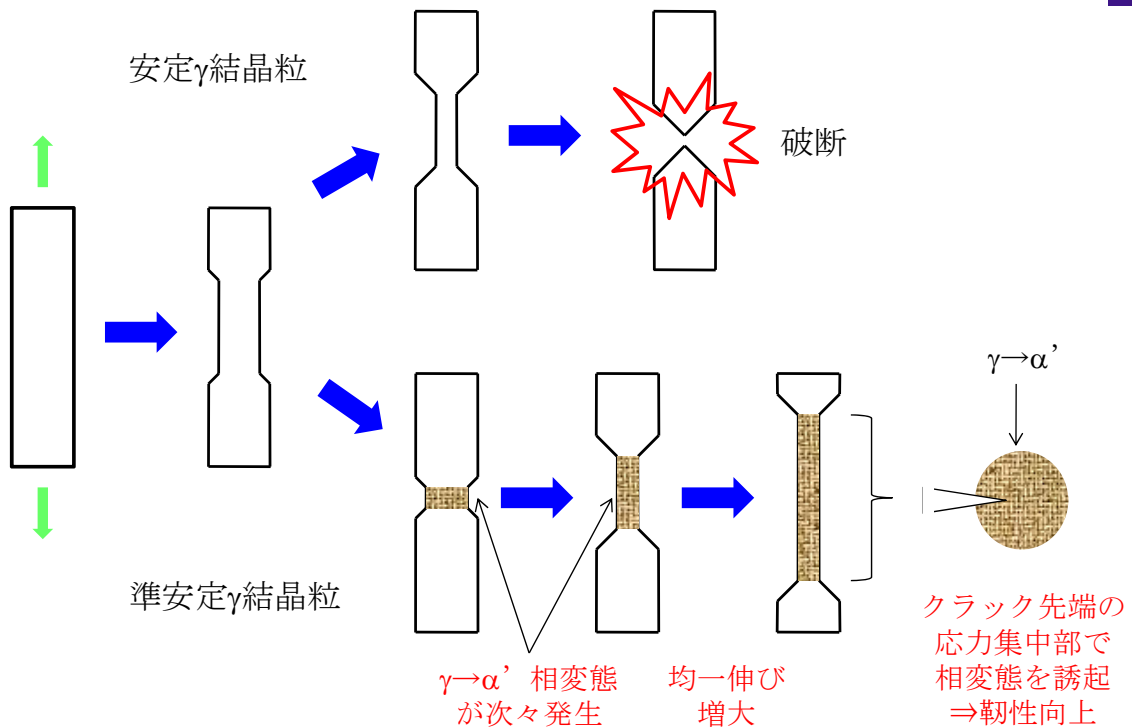
- ①金型内での冷却には10秒程度の時間が必要なため、冷間成形に対し生産性が低い。
- ②焼入後の製品は高強度であるため、金型による後加工では治具の損耗が激しい。
- ③大型連続加熱炉やレーザー設備の投資額が大きい。



高降伏応力、低ヤング率の材料ほどスプリングバックは大きく、Tiはステンレスの2~3倍高い。

軟鋼、440MPa級、980MPa級のハイテン材の冷間プレスと、ホットスタンプによる形状凍結性を比較したデモ試験。実際の自動車部材製造時には種々の対策を講じてスプリングバックを低減する。

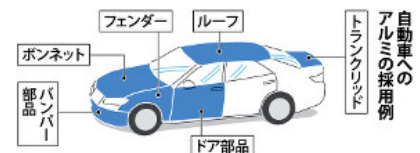
https://y100.isij.or.jp/ferrum/PDF/PDFOpen.php?PNAME=SEC/VOL01805/2013_Vol.018_No.05_0220.pdf



TRIP鋼は良好な加工性のみならず、衝突時の衝撃吸収性が大きく、引張強度 590MPa から 980 MPa の段階に入り、フロントサイドメンバやロアアーム、ピラー等で使用される。

- ① 高強度化には析出強化と冷却制御が有効で、マルテンサイト相で強度を確保し、 α 相で成形性を持たせたDP (Dual Phase) 鋼や、冷却制御により未変態 γ を残留させ、軟質 γ を加工中にマルテンサイトに変態させるTRIP (Transformation Induced Plasticity) 鋼が開発された。
- ② ハイテン材は高強度・低加工性のため、深絞り・張り出し・曲げ等の塑性変形時のシワ・キレツ発生や、金型寿命低下、スプリングバックの課題がある。
- ③ ホットスタンプにより成形後のスプリングバックを改善し、成形荷重抑制の利点がある一方、加工中の表面酸化、熱エネルギー付与が不可欠、冷却に時間がかかり生産効率が悪い、等により、コスト高が課題。
- ④ ハイテン材の溶接熱影響部における継手強度の確保と、解決のためのテンパー通電処理による生産性の低下。

23



最近の主なアルミ採用車

発売年	車種	従来型からの軽量化	主な軽量化
2017年	独BMW5シリーズ	60%*	ボンネット、ドア、フェンダー、ルーフなどをアルミ化
	独メルセデス・ベンツEクラス	50%*	ボンネット、フェンダー、トランクリッドなどをアルミ化
2016年	ホンダ新型NSX	※	骨格はアルミと鉄の複合構造、ボディはアルミ、樹脂など
2015年	英ジャガーXF	50%*	ボンネット、フェンダー、ルーフなどをアルミ化
	マツダロードスター	100%*	ボンネット、トランクリッドなどをアルミ化
2013年	英・新型レンジローバー	190%*	SUVとして世界初のオールアルミボディ

(日本アルミニウム協会調べ)
※NSXは初代と単純比較できず、SUVはスポーツタイプ多目的車

<https://dcisolution.com/new-materials-are-they-making-cars-out-of-kryptonite-yet/aluminum-car/>

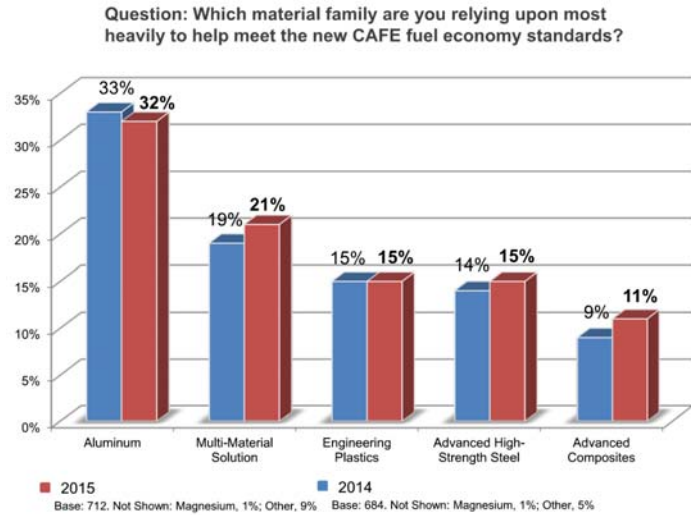
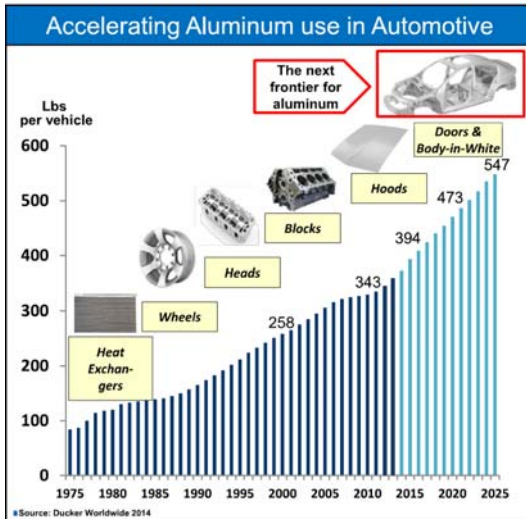
毎日新聞2017年8月21日



1991年にAlボディのクアトロ・スパイダーを発表。
1990年代後半：Audi A2とA8を含むAl車を量産。
2002年：Al車を15万台生産し、A6、A7、A8、R8モデルで、Aluminum SpaceFrame®を採用。

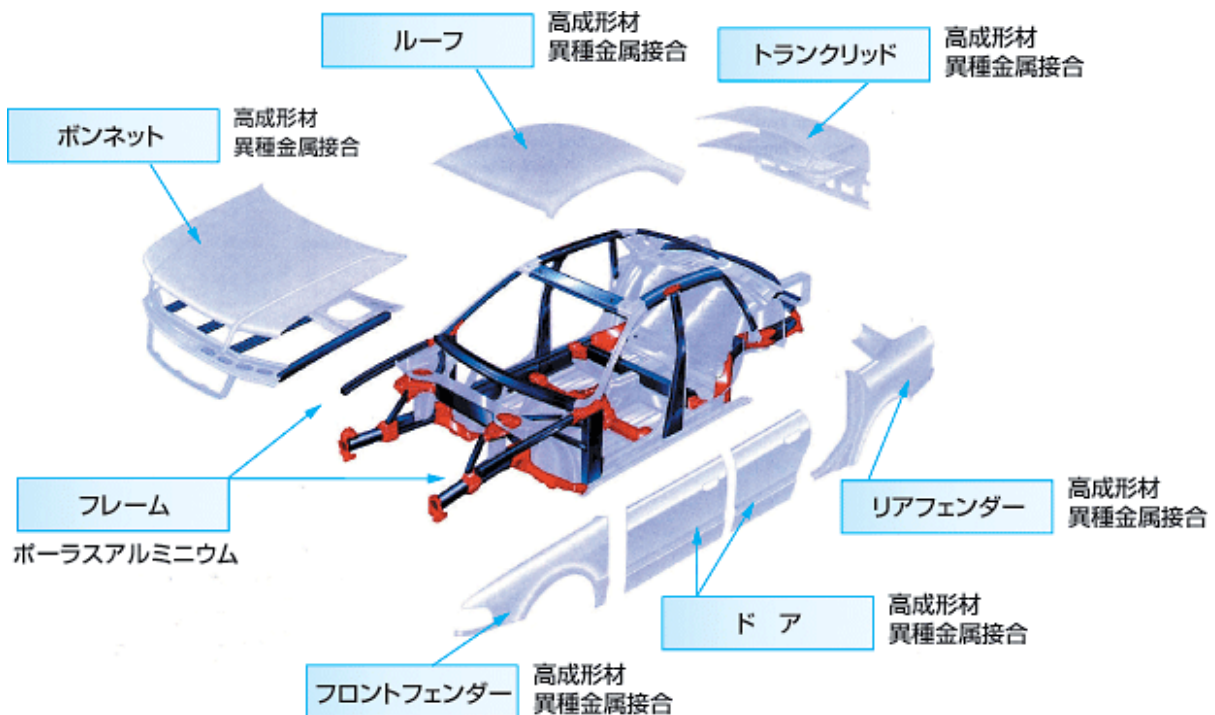
24

- ① Alの密度は 2.70g/cm^3 で鉄の35%、融点は 660.3°C で鉄より 875°C 低く、クラーク数は3 (7.56%)で、資源は鉄の1.6倍存在する。
- ② Alの結晶構造は面心立方格子 (FCC)で塑性変形が容易。
- ③ Alの熱伝導率 $237\text{ W}\cdot(\text{m}\cdot\text{K})^{-1}$ は鉄の2.8倍で、電気抵抗率は $28.2\text{ n}\Omega\cdot\text{m}$ で鉄の3.6倍。



<http://www.metalbulletin.com/events/download.ashx/document/speaker/7769/a0ID000000X0kDSMAZ/Presentation>

25



http://www.nedo.go.jp/activities/ZZ_00226.html

① 走行安定性

足回り部材は、車体とホイールを結合し走行時にタイヤからの力に耐え、操縦安定性や乗り心地を左右する。これらの部材はバネ下重量となることから、部材軽量化の効果は、**軽量化より操縦安定性能の向上に大きく寄与する。**



http://www.kobelco.co.jp/ecobiz/list/1174107_13068.html

② 衝撃エネルギー吸収性

衝突時のエネルギーを変形しながら吸収して安全性を確保するために、**変形能に優れた高強度材を押し出し加工で断面形状を制御**し、鋼材に比べ吸収エネルギーを50%増加させる。



<http://tech.nikkeibp.co.jp/dm/atcl/event/15/040600053/052500006/?ST=SP>

③ 運動性能

バンパーなど重心から離れた部品の軽量化は慣性モーメントを低減し運動性能を向上させる。 外付けのため他の部品との干渉が少なく設計自由度が高い。プレスとスポット溶接の工程で製造する鋼板材に比べ、部品数、組立数低減が可能。



27

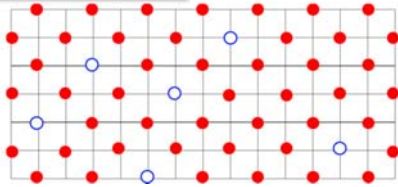
<https://response.jp/article/2015/06/29/254498.html>

JIS規格	合金	特徴	材料科学的な意味
1000系	Al	展延性、溶接性、耐食性	低強度用
2000系	Al-Cu(-Mg)	強度、切削性	Cu:析出硬化(ジュラルミン)
3000系	Al-Mn(-Mg)	高強度、耐食性、成形性	Mn:再結晶温度を増加
4000系	Al-Si(-Cu-Mg-Ni)	耐摩耗性、耐熱性	Si:熱膨張率低減、耐熱性向上
5000系	Al-Mg	成形性、溶接性、耐塩性	Mg:固溶強化
6000系	Al-Mg-Si	強度、耐食性	Mg ₂ Si:析出硬化
7000系	Al-Zn-Mg(-Cu)	強度	MgZn ₂ , Mg ₃₂ (Al,Zn) ₄₉ :析出硬化

A B C D - X Y ← X=Hの時、Y=1n:加工硬化のみ、2n:加工硬化後軟化熱処理、3n:加工硬化後安定化処理
X=Tの時、Y=2:寸法安定化熱処理、3:溶体化後冷間加工、4:溶体化後自然時効、
5:急冷後時効、6:溶体化後時効、7:溶体化後安定化、8:溶体化後冷間加工・時効
合金 ↑ ↑ ↑ ↑
種類 ↑ ↑ ↑ ↑
F:製造まま、O:焼鈍し材、H:加工硬化材、T:熱処理材(時効)
基本合金は0、改良合金の順に1~9(日本で開発され国際規格にないものはN)

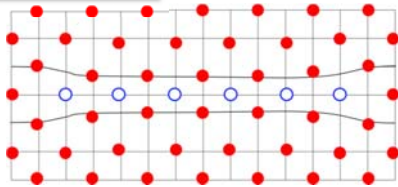
- (a) **溶体化温度**: X組成の合金を単相域に加熱後に急冷し、過飽和固溶体を作ること。
- (b) **時効**: 溶体化処理後の試料を溶解度曲線以下に保持し、安定状態に近づけること。
- (c) **過冷度**: 時効温度と溶解度曲線温度との差

(a) 溶体化処理

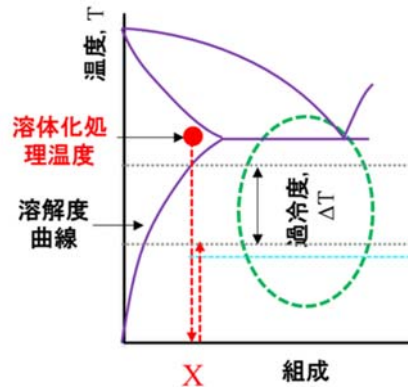


溶質原子は結晶格子を占有する

(b) 時効処理



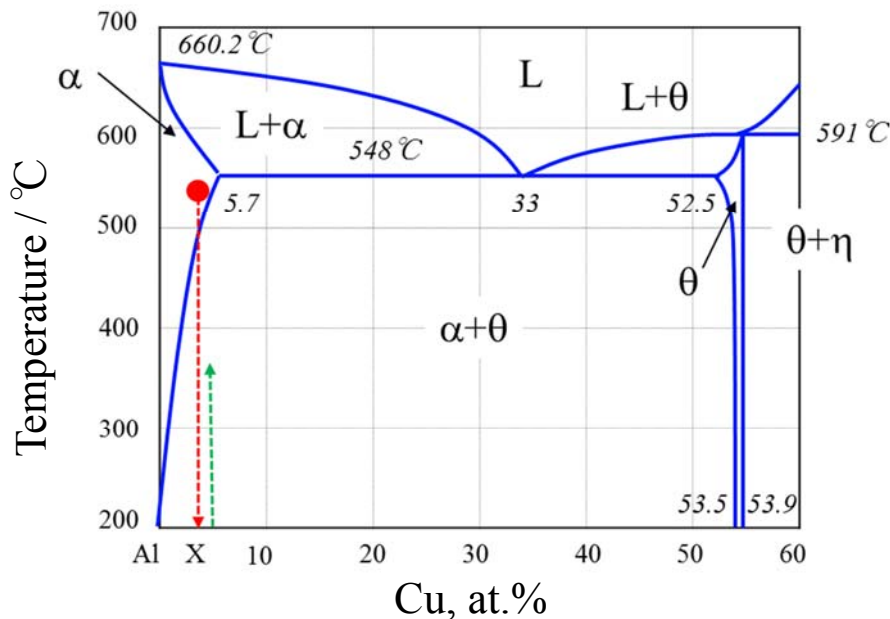
溶質原子は偏析して新相を形成する



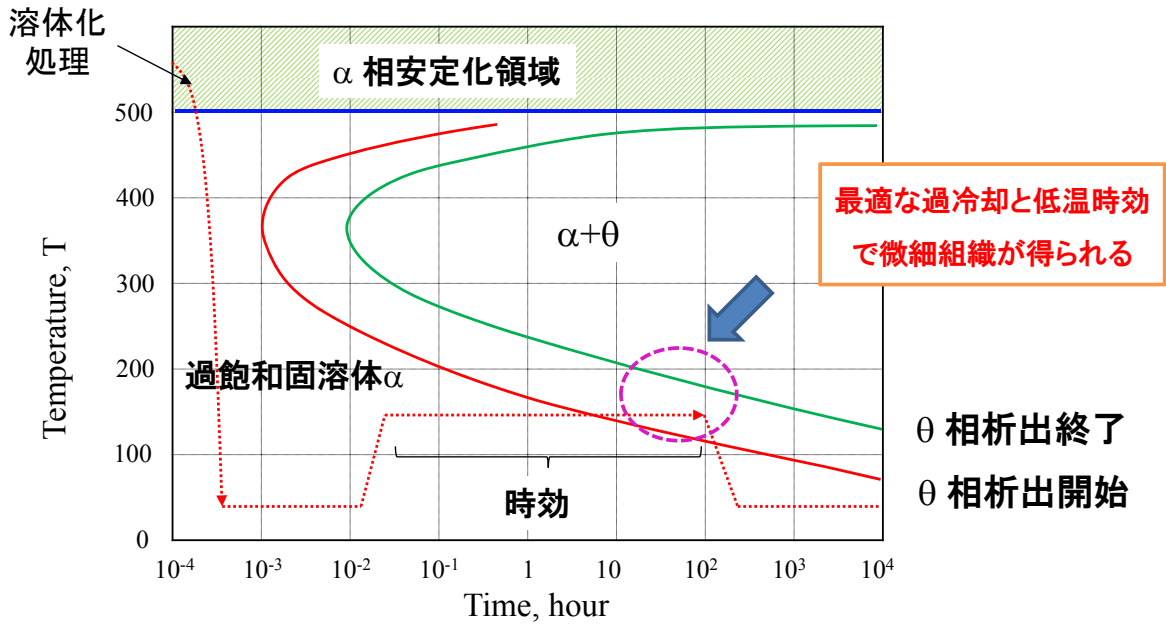
(c) 過冷度

大: 短時間で核生成頻度が増加し、微細結晶粒が得られる。
小: 結晶核は粗大化し、結晶粒径は大きくなる。

微細結晶粒組織は溶体化温度や時効温度、過冷度を制御することで得られる。

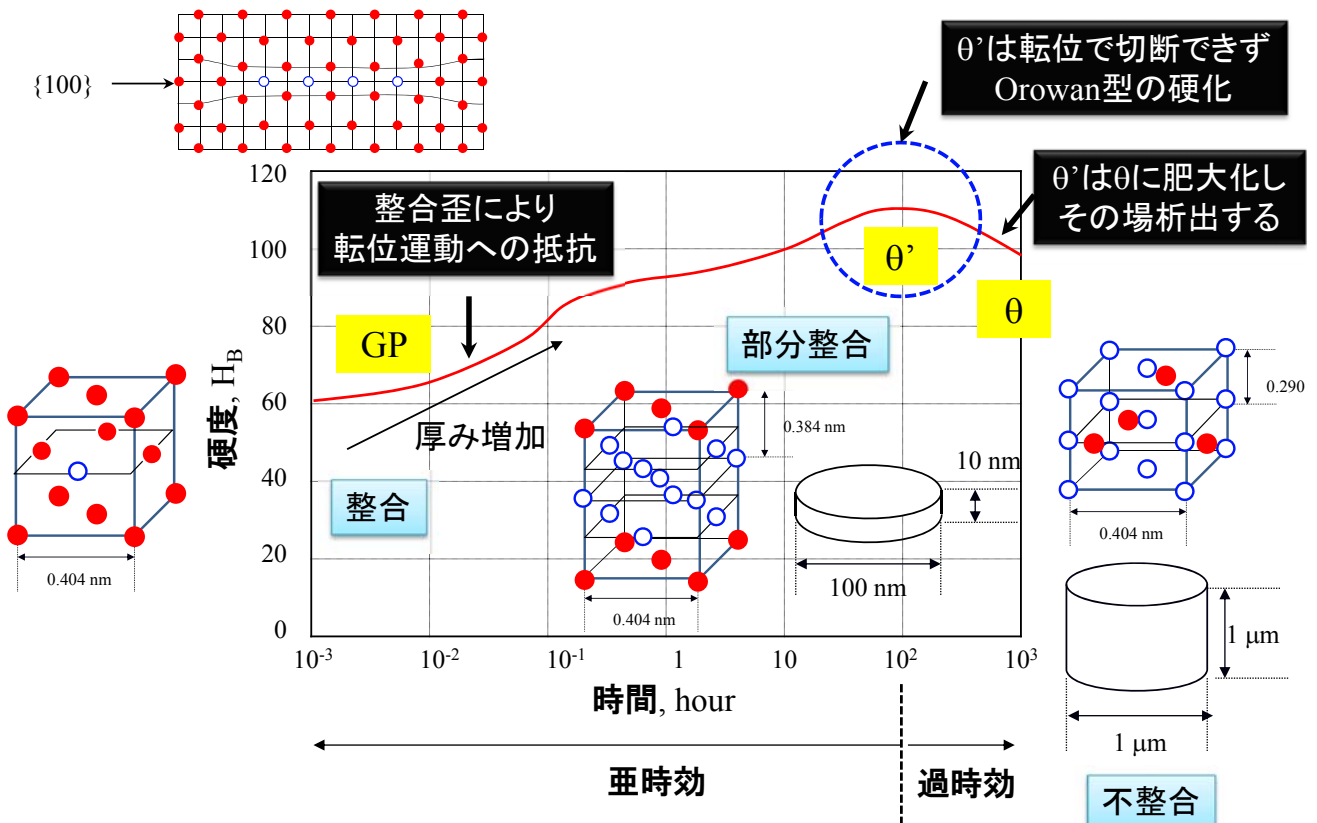


- ① 組成Xの合金を赤線のように急冷するとαの過飽和固溶体が生成 (溶体化処理)。
- ② これを溶解度曲線以下の温度で保持すると安定状態になりθ相が析出 (時効)。

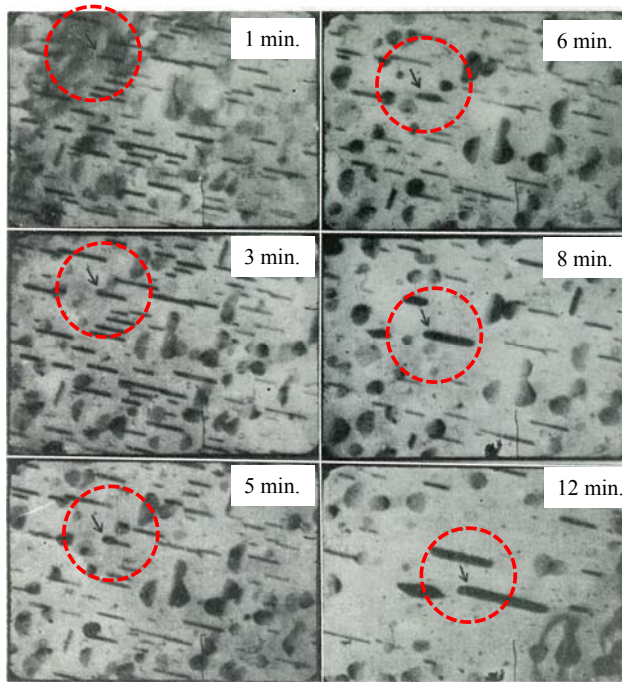


- (a) 過飽和固溶体 α を時効後 θ 析出開始線を超えると θ 相析出が始まる (上図の赤線)。
 (b) θ 相は θ 析出終了線まで析出し (量が増える)、更なる時間経過により粗大化する (上図の緑線)。

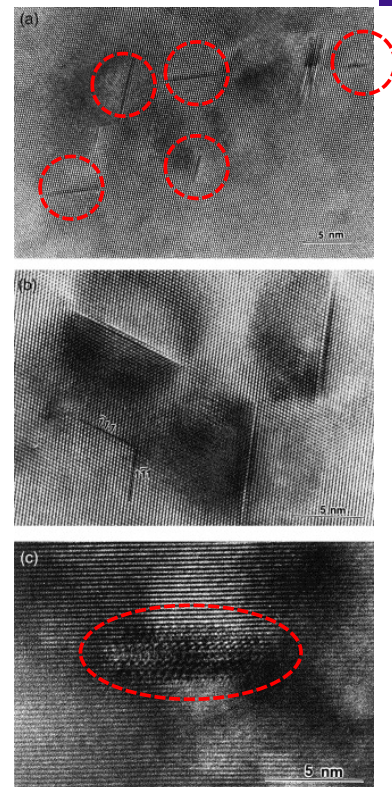
31



32



Transition from θ' to θ in Al-4Cu alloy aged at 350°C

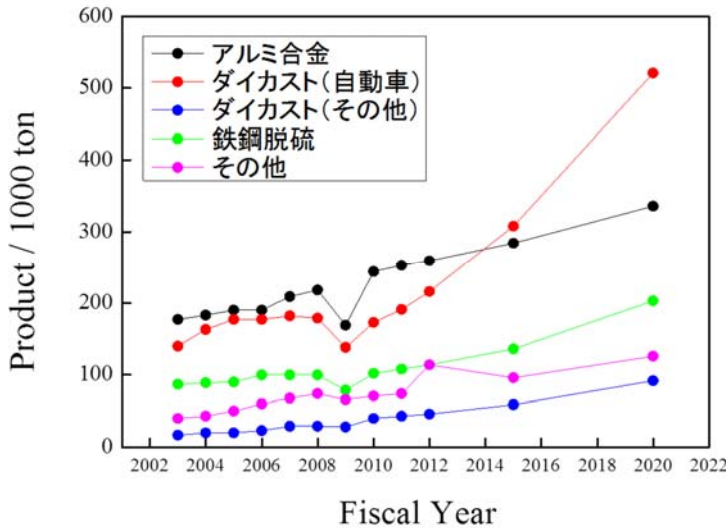


TEM microphotos of θ'

33
L.K Berg et al., Acta Materialia 49 (2001) 3443

- ① 難点は、Alの価格は重量当たりで鉄鋼の3倍程度であることと、板材においては成形性と接合の技術的課題がある。
- ② Al合金は鉄に比べ伸びが小さく、加工シワや割れが発生しやすく、スプリングバックが大きい傾向にあるため、鉄鋼と同じようなプレスが難しい。
- ③ Alは熱伝導率や電気伝導率が高いため、溶接時の熱が分散し、溶接には鉄鋼の2倍の加圧力、2~3倍の電流と、エネルギーを必要とする。このため高速回転の摩擦熱で塑性流動を起こして接合する摩擦攪拌接合やレーザー溶接、アーク溶接とレーザーを複合したハイブリッドレーザーなどの接合が必要（マツダはRX-8で摩擦攪拌点接合を採用）。
- ④ 価格、成形性、接合、鉄鋼との複合化による電食対策などから、日本は欧米に比べAlの採用に慎重だが、現時点でハイテン以外で使える軽量化素材でAlは有力候補で、いずれは日本メーカーも採用の動きが出ると予想する。

- ① Mgは金属の中で最も軽く比重は1.8g/cm³で、Alの2/3、Tiの1/3、Feの1/4。
- ② Mgは薄肉でも高強度を持つため、比強度が高く、要求強度に対して部品の薄肉化、軽量化に有利。
- ③ 良好な放熱性 (熱伝導性は150W/mk) のため、機器内部の熱を効率的に発散。

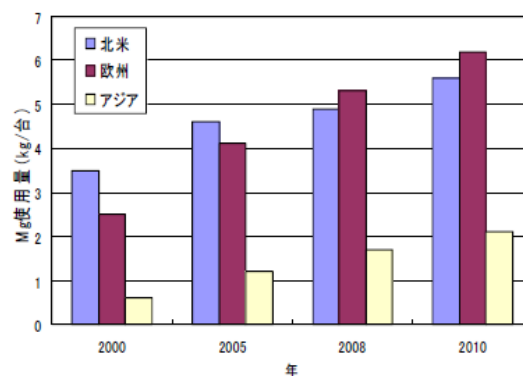


- ① Mgの需要は8年間で40%増加し、そのうち、Alを主体として添加したMg-Al系合金の用途が40%を占める。
- ② 今後、自動車用ダイカストをはじめとした構造材への需要拡大が予想される。

出展：マグネシウム協会ホームページ

- ① 自動車1台当たりのMg使用量は増加傾向にある。
- ② 北米、欧州に比べてアジア地域でのMg使用量は少ないが、今後、使用量が増加する可能性が高い。

自動車メーカー	車種	使用量
GM	フルサイズバン: Savana & Express	> 26.3kg
Audi	A6: 2.8 Multitronic	> 20.3kg
GM	ミニバン: Safari & Astro	> 16.7kg
Ford	F-150トラック	14.9kg
VW, Audi	Passat, A4 & A6	13.6~14.5kg
Audi	TT	11.5~12.5kg
Porsche	Boxster Roadster	9.9kg
GM	Buick Park Avenue	9.5kg
Alfa Romeo	156	9.3kg
Jaguar	X	8.7kg
VW	Golf & Polo	8.2~9.2kg
Mercedes-Benz Chrysler	SLK Roadster	7.7kg

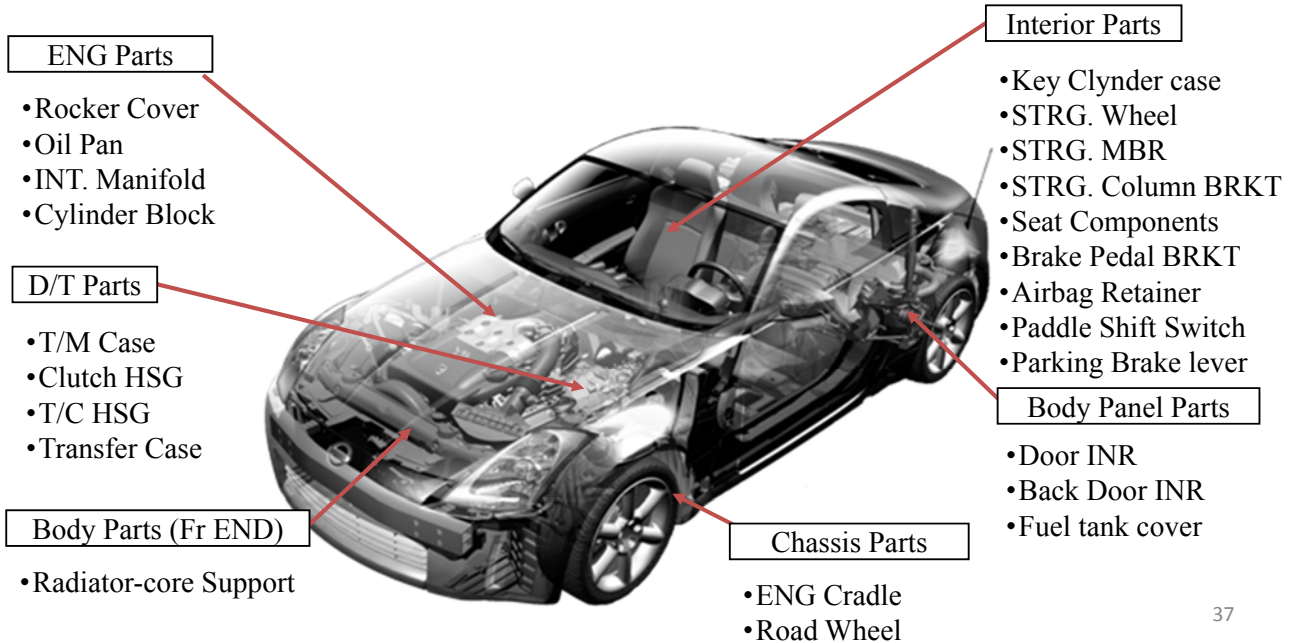


自動車1台当たりのMg使用量予測(2000)

出典：日本Mg協会資料(2005)

[Norsk Hydro社(2000)による]

- ① 現在適用されている部品はほとんどがダイカスト。
- ② 環境（腐食・温度）がマイルドなコックピット内での適用が多い。
- ③ パワートレイン（エンジンで発生した回転エネルギーを駆動輪に伝える装置類の総称）では耐熱合金が増加傾向。



37

- ① アルミ casting 部品の置き換えが高級車から始まっている。
- ② AZ91D は、温度環境が厳しくない部位で採用されている。



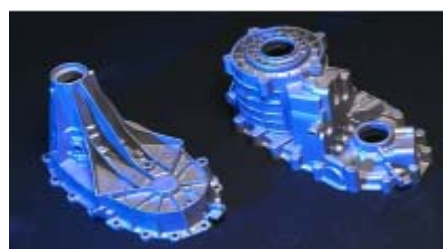
VW. Cylinder head covers



BMW. Intake manifold



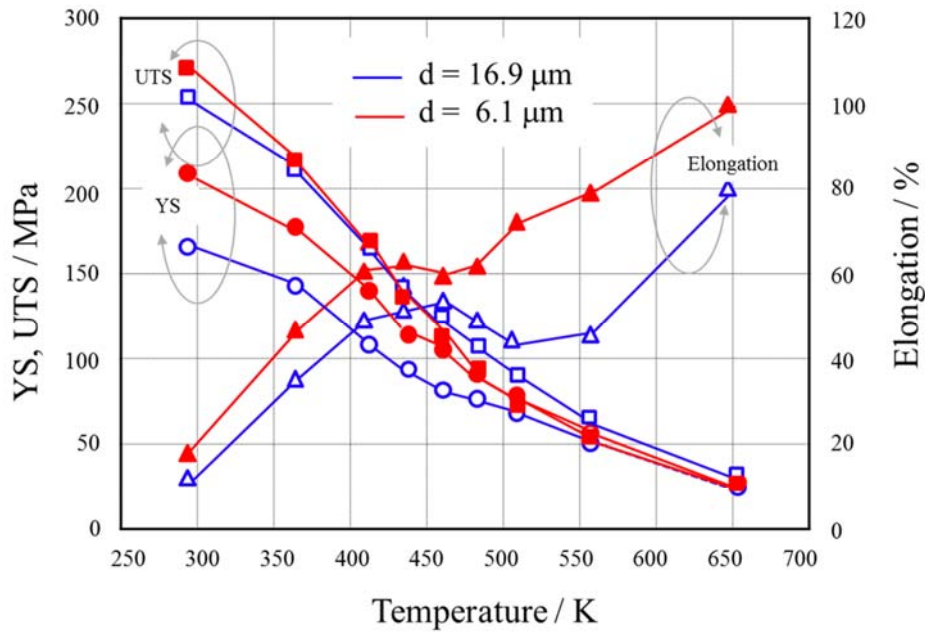
VW. Manual transmission



GM. 4-wheel drive transfer cases

AZ91D

38



- a) 結晶粒を微細にするほど、強度・延性・塑性加工性が改善される。
- b) 約250°Cより高温では動的再結晶と結晶粒粗大化が起こり、延性は僅かに向上するが、強度は著しく減少する。

ASTM規格では合金名を5つのアルファベットと数字の組合せで表記する

AZ91D

- 1文字目 **A** : 主要合金元素
⇒ **Al**
- 2文字目 **Z** : 主要合金元素
⇒ **Zn**
- 3文字目 **9** : 合金元素Aの重量%
⇒ **Al9%**
- 4文字目 **1** : 合金元素Zの重量%
⇒ **Zn1%**
- 5文字目 **D** : 開発された順番
⇒ **4番目に開発**

元素	効果
Al (A)	固溶硬化・析出硬化。Al増加により伸び・衝撃値は低下。 casting・耐食性は改善
Mn (M)	耐食性の改善
Zn (Z)	casting、強度の改善
Ag (Q)	耐熱強度の改善
Ca (X)	クリープ強度改善、燃焼防止
Th (H)	Zrとの共存で結晶粒微細化
Si (S)	クリープ強度の改善
Zr (K)	結晶粒微細化
RE (E)	機械的性質の改善
Y (W)	Zrとの共存で結晶粒微細化

Alの増加により $Mg_{17}Al_{12}$ を時効析出させ、強度と靱性が改善される
(耐食性は劣化する)。

$Mg_{17}Al_{12}$ と $Mg_{32}(Al, Zn)_{49}$ を時効析出させ高強度化させる。

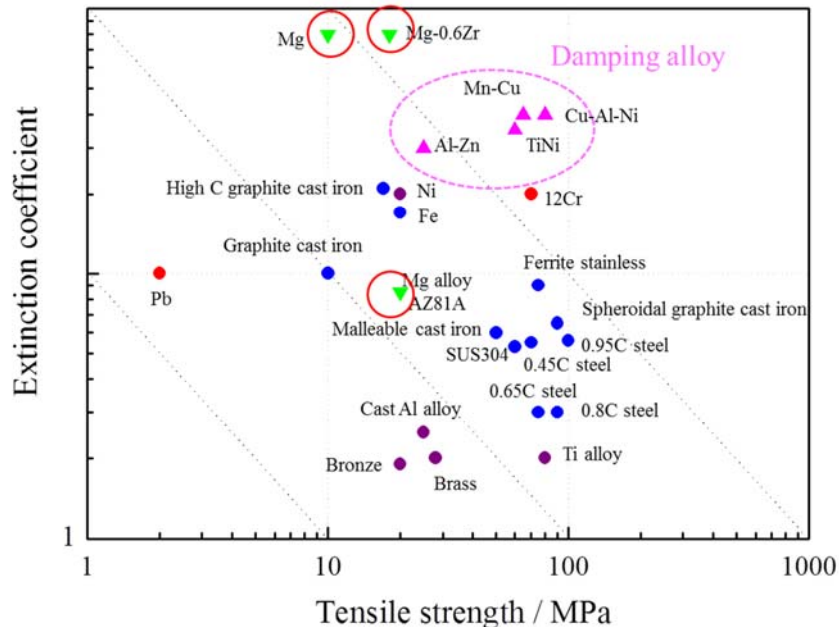
Zn添加により $MgZn$ を析出させて強化すると同時に Zr添加により微細化させる。

Ce 添加により $Mg_{12}Ce$ を析出させ、クリープ強度を高める。

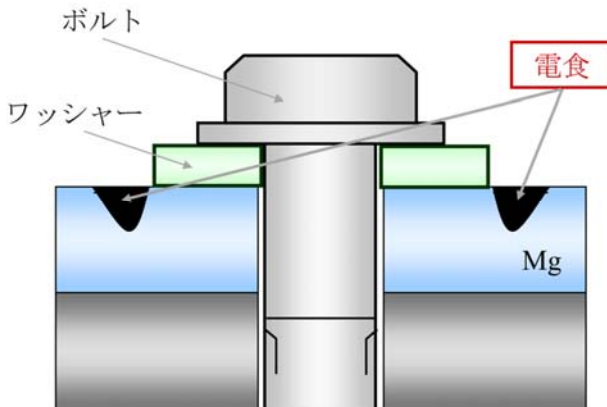
Th 添加は $MgZnRE$ 析出より高いクリープ強度を得られる。

Alloy	ASTM	JIS	Al	Zn	Mn	Zr	RE	Th	etc
Mg-Al	AM100A	MC5	9.3 ~10.7	<0.30	0.10 ~0.5	-	-	-	-
	AZ63A	MC1	5.3 ~6.7	2.5 ~3.5	0.15 ~0.6	-	-	-	-
	AZ81A	-	7.0 ~8.1	0.40 ~1.0	>0.13	-	-	-	-
Mg-Al-Zn	AZ91C	MC2	8.1 ~9.3	0.40 ~1.0	0.13 ~0.5	-	-	-	-
	AZ91A	MDC1A	8.3 ~9.7	0.35 ~1.0	>0.15	-	-	-	Cu<0.10
	AZ91B	MDC1B	8.3 ~9.7	0.35 ~1.0	>0.15	-	-	-	Cu<0.35
	AZ92A	MC3	8.9 ~9.7	1.6 ~2.4	0.10 ~0.5	-	-	-	-
Mg-Zn-Zr	ZK51A	MC6	-	3.6 ~5.5	-	0.50 ~1.0	-	-	-
	ZK61A	MC7	-	5.5 ~6.5	-	0.60 ~1.0	-	-	-
Mg-Zn-RE	EZ33A	MC8	-	2.0 ~3.1	-	0.50 ~1.0	2.5 ~4.0	-	-
	ZE41A	-	-	3.5 ~5.0	>0.15	0.40 ~1.0	0.75 ~1.75	-	-
Mg-Th	HK31A	-	-	<0.30	-	0.50 ~1.0	-	2.5 ~4.0	-
	HZ32A	-	-	1.7 ~2.5	-	0.50 ~1.0	-	2.5 ~4.0	-
	ZH62A	-	-	5.2 ~6.2	-	0.50 ~1.0	-	1.4 ~2.2	-
Mg-Ag	QE22A	-	-	-	-	0.40 ~1.0	1.8 ~2.5	-	Ag 2.0 ~3.0
Mg-Al-Si	AS41A	-	3.5 ~4.0	<0.12	0.20 ~0.50	-	-	-	-
Mg-Zr	K1A	-	-	<0.30	-	0.50 ~1.0	-	-	-

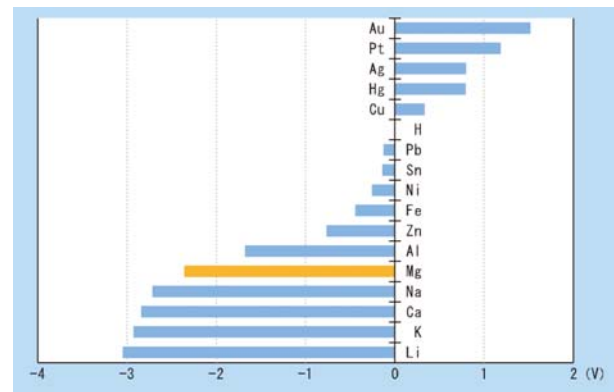
耐久限界以下の振動にさらされるととき、Mgはエネルギー吸収および減衰特性(ダンピング特性)において優れた機能を持つ。Mgは自動車用構造部材に適用することで、振動を吸収し材料寿命を延ばす効果に優れる。



MgにFe, Ni等が微量に含まれると著しく腐食するため高純度が必要。異種金属が水等の電解質溶液中で接触すると金属間に電位差を生じ、電位の低い金属が選択的に電荷を失って溶け出して腐食（電食）するが、Mgの標準電極電位は -2.36V と実用金属中で最も低いため腐食し易く、化成処理、陽極酸化、めっき等の保護が必要。



低い標準電極電位の金属がイオン化し腐食（電食）が進行する



主要金属の標準電極電位

43

- ① Mg合金は塑性加工性が乏しいことに加え、圧縮耐力が引張り耐力よりも低い場合が多く、設計時に注意が必要である。
- ② Mg合金は、ダイカスト用、射出成形用として用途が拡大傾向にある。曲げが作用する部位に適用することで軽量化が期待できる。また振動吸収性や軽量化に伴う放熱性、射出成形を活用したデザイン自由度等を付与可能である。
- ③ Al合金を例に見ると、75%以上が鋳物合金であることから、アルミダイカストADC12 (Al-Si-Cu-Mg-Zn-Fe) のような鋳造性に優れた合金が必要。
- ④ 耐食性が悪くAl添加が不可欠であると共に、標準電極電位が -2.36V と実用金属中で最も低いため、相手の金属によらず腐食するため防食表面処理が必要。
- ⑤ 今後の適用拡大のためには、電食対策、機械特性の改善、リサイクル技術の開発が課題となる。

44



イタリア・トリノの新興デザインスタジオ「ICONA（イコナ）」が、チタン製のボディを纏ったスーパーカー「VULCANO（ヴォルケーノ）」を公開しました。同車は、2015年に披露したコンセプトモデル「イコナ ヴァルカーノ チタニウム コンセプト」の市販モデルで、世界初のフルチタン製ワンオフモデルのスーパーカーとして注目を浴びています。販売価格は流石に世界初のフルチタンだけあり、驚きの**2億8000万円**にもなるとのこと。スーパーカー界に現れた期待の一台の走る姿を見れる日が楽しみでなりません。

45

<https://carnny.jp/3144>

Property	Data	Application
軽量 (ステンレスの60%)	密度: 4.51 g/cm ³	飛翔体
強い (ステンレスと同程度)	引張強度: 27 ~ 55 kg/mm ² (Ti 合金: 50 ~ 150 kg/mm ²)	
耐食 (塩素イオンに強い)	10%HCl中腐食は1mm/year 以下	熱交換器
生体適合性 (体内での溶出が小)	生体細胞と親和性がある	インプラント医療器具



飛行機 (B787)



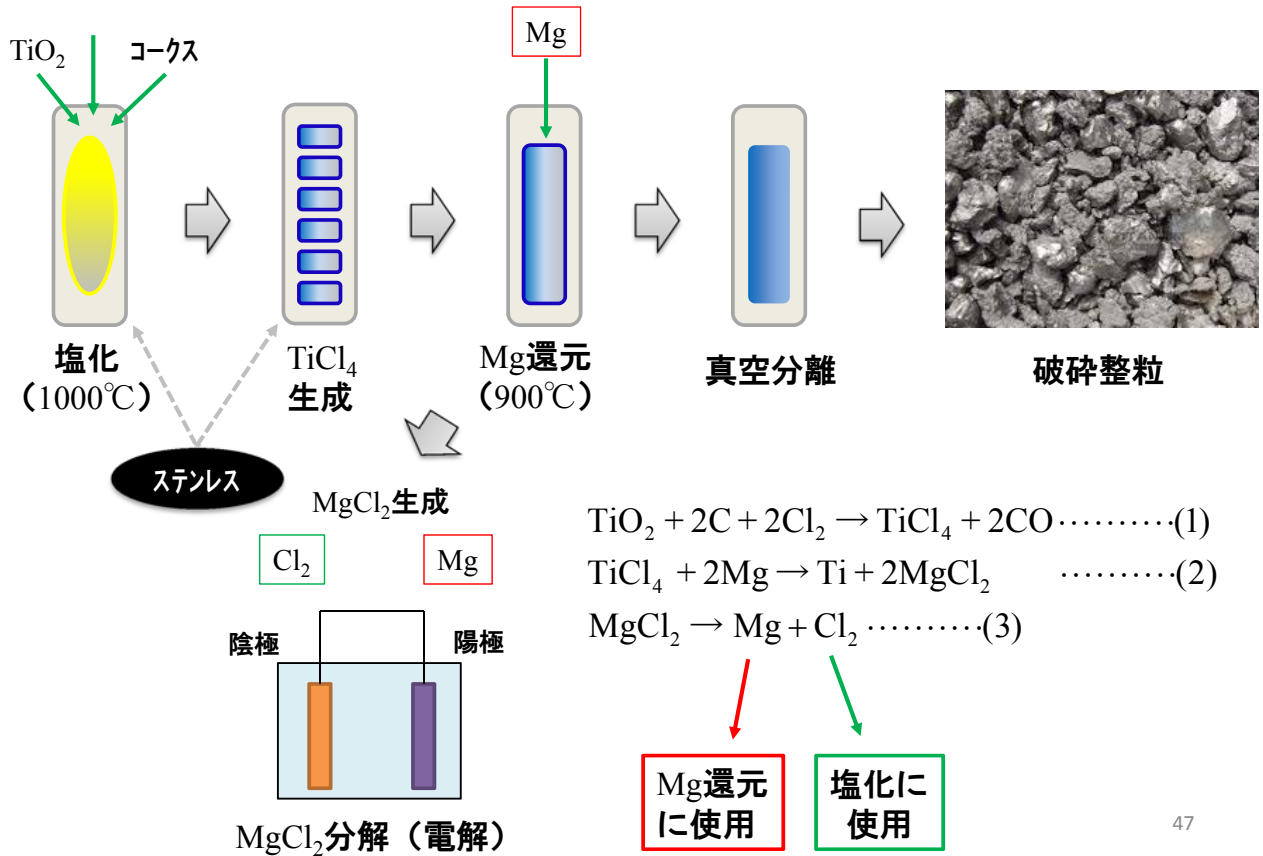
ジェットフォイル



熱交換器



インプラント⁴⁶



	ステンレス	チタン
軽さ	×	○
剛性	×	○
着色	×	○
光沢	○	×
サフト	×	○
価格	○	×
アルギ-	×	○

<http://www.ganador.co.jp/products/titan.html>より



マフラー軽量化することにより、車全体の運動性能 (走る・曲がる・止まる)が向上



通常は、6-9mm厚のフランジを使用するが、重量増加に繋がるので軽量化のメリットは大きい



バーナー色つけか薬品色つけにより、ブルージェーション加工が可能



Super・TIX・10CU(NB)のマフラー適用例.

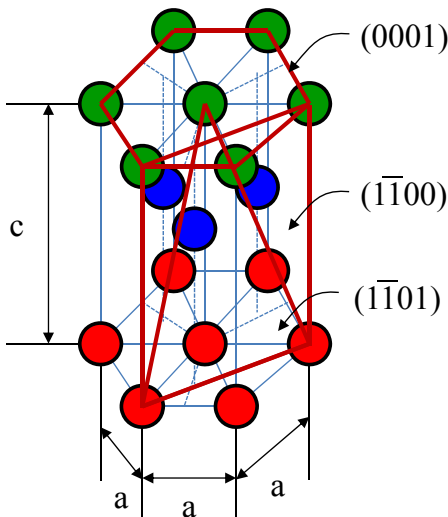
- ・エキゾーストパイプ、マフラーを中心に年間約1000トンの市場がある。
- ・四輪車ではエキゾーストパイプが外気に曝されないため空冷が期待できず、二輪でも排ガス浄化触媒装置近辺で排気ガス温度が高い。そのため、工業用純チタンよりも耐熱性に優れるチタン合金が求められる。 まてりあ 49(2010)75-77



MIRAIの燃料電池スタック

- ・燃料電池車MIRAIの燃料電池スタックセパレーターにチタン圧延材が採用。
- ・セパレーターは燃料電池スタックの基幹部品で、耐食性・表面導電性が必要。

49
http://www.kobelco.co.jp/releases/2015/1190692_14507.html



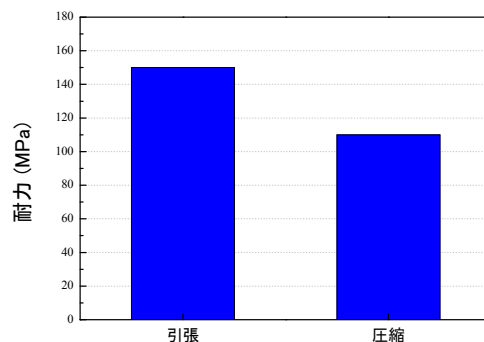
理想的なHCP結晶では、高さcと底面の原子間距離aの比は正四面体の高さの2倍と稜の長さの比に等しい

$$\frac{c}{a} = \frac{2\sqrt{2}}{\sqrt{3}} = 1.633$$

$c/a \geq 1.633$: (0001) 充填率 > $(\bar{1}\bar{1}00)$ $(110\bar{1})$ 充填率
→ (0001) 滑りがおこりやすい

$c/a \leq 1.633$: (0001) 充填率 < $(\bar{1}\bar{1}00)$ $(110\bar{1})$ 充填率
→ $(\bar{1}\bar{1}00)$ $(110\bar{1})$ 滑りがおこりやすい

MgとTiのc/aは1.623と1.587で非底面滑りが起こる



マグネシウム合金AZ31の引張りと圧縮による耐力差

- ① Tiは鋼に比べて比強度が高くAlよりも耐熱性に優れ、軽量化の効果は大きい。例えば、鋼をチタン化することによって二輪車で約3kg、四輪車で約8kgの軽量化が可能である。また、Tiは鋼よりも熱膨張率とヤング率が小さく、熱膨張収縮による発生応力の半減が見込まれ、熱サイクル疲労特性に有利である。
- ② Ti製部品は冷間でのプレスや曲げなど種々の成形加工により製造されることから冷間成形性が要求されるが、JIS2種クラスの純Tiはこれを十分に満足する。一方で、高強度のTi合金は加工性に劣り、その克服が課題である
- ③ Ti合金は鋳造・鍛造自動車部品での採用が中心となると考えられる。自動車軽量化の特性は十分だが、自動車用鋼板で求められるほど薄く加工するのは難しくコストが高いことが最大の難点。
- ④ 今後の適用拡大のためには、加工性の改善、低コスト化、耐酸化性の改善が課題となる。

51

御清聴有難うございました

52