

NSX用オールアルミニウムボディの開発

Development of All Aluminum Body for NSX

小 松 泰 典*
Yasunori Komatsu

伴 恵 介**
Keisuke Ban

村 岡 康 雄*
Yasuo Muraoka

矢羽々 隆 憲*
Takanori Yahaba

安 永 晋 拓*
Kunihiro Yasunaga

塩 川 誠*
Makoto Shiokawa

要 旨

車の基本性能である走行性能の向上手段として、近年の地球環境問題に端を発した排ガス規制や、燃費改善の対応として、自動車の軽量化は大きな課題となっている。

今回上市したNSXは、スポーツカーとして高性能化を極めるために、軽量車体に高性能エンジンを搭載し、他に類を見ない車として完成しているが、この中で、大巾軽量化を達成するために、ホワイトボディ材すべてにアルミニウム材料を採用し、140kg以上の軽量化を実現している。

アルミニウムボディの量産化、実用化に当たっては、アルミニウムの持つ材料特性上いくつかの課題があった。

本報告では、そのためのアルミニウム材料開発、成形技術の確立、接合技術の確立等の内容を中心に解説する。

ABSTRACT

The overall weight reduction of an automobile has been one of the major challenges facing automotive engineers. Such a requirement has been deemed necessary to improve an automobile's basic performance, increase fuel economy, and satisfy the recent environmental and ecological demands to reduce emissions from automotive engines.

The Honda NSX, recently introduced to the sports car market, is equipped with a lightweight body and a high performance engine. It is unique in terms of the pursuit of an ultimate high performance car. A weight reduction exceeding a total of 140 kg was achieved through the utilization of aluminum materials for the entire white body. There were several problems, however, which required confrontation and resolutions prior to the actual mass production and use of an aluminum body. Such problems were mostly derived from the characteristics common to aluminum materials.

This paper focuses upon the development of aluminum materials capable of being used for the mass production of an automobile body, the development of the molds and forms used for production, and the fastening technologies incorporated to cope with the problems encountered.

1. はじめに

図1に示すNSXは、エンジン系はもとより、ボディ、シャーシに至るまでそのすべてをアルミニウム化している。NSXの開発に当たっては、“だれでもが乗れる本格的スポーツカー”を開発のコンセプトとし、加速性能、ハンドリング性能の向上をポイントとした。そのため“徹底軽量化が大命題”となりアルミニウム材料を採用するに至った。

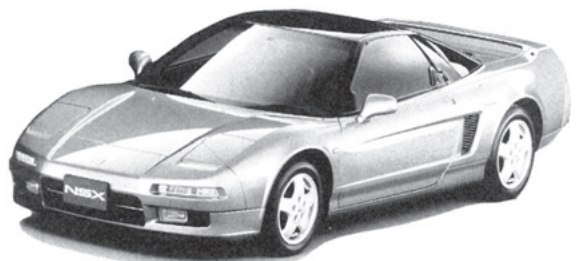


図1 オールアルミニウムスポーツカー NSX

* 栃木研究所

** ホンダR&Dノースアメリカ

NSXは運動性能だけを最大限に強調したF-1をイメージに置きながらも、車として必要なヒューマンフィッティング、環境適合性共に高い性能でバランス良く成立させており従来のピュアスポーツ、プロダクションスポーツに対して実用車としてのすべての面で優れている(図2)。これらの要求特性を成立させるためにさまざまな新技術を取り入れているが、中でもオールアルミニウムボディを代表とした徹底軽量化技術が主要技術となっている。図3に示すようにNSXを冷延鋼板で作った場合に比べ車両重量は約200kgの軽量化となり加速性能、ハンドリング応答性は共に改良

されている。

本論文では、オールアルミニウムボディを本格量産化レベルへ移行させるために必要となった各種要素技術ごとに要点を解説する。

2. 軽量化素材の選択

2.1. 軽量化素材の検討

強度、剛性、生産性、コスト等、車の軽量化素材として本格量産化を前提とした場合に要求される特性のすべてについて検討した結果、図4に示

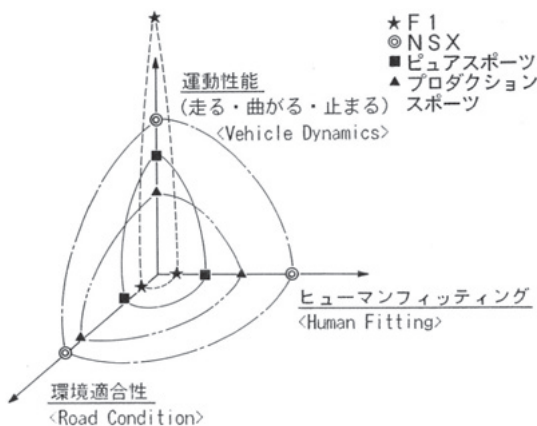


図2 NSX目標概念図

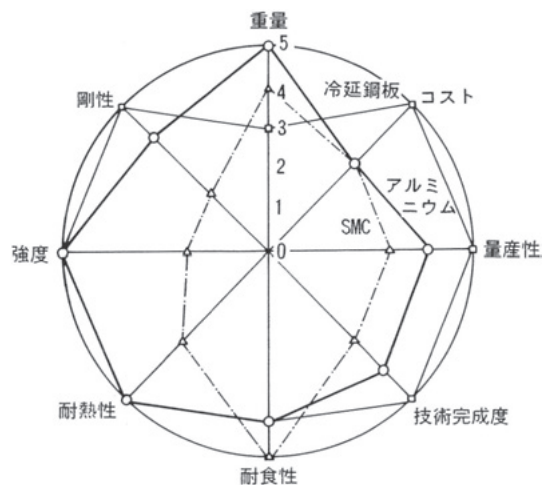


図4 自動車ボディ用材料に要求される主要特性と各種材料のレベル比較

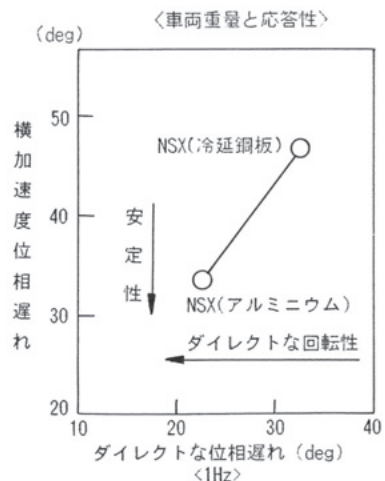
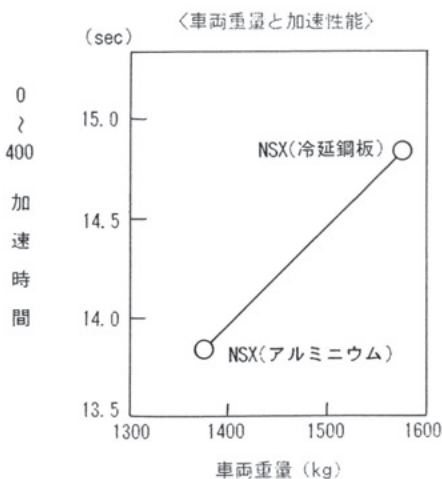


図3 軽量化の必要性ー運動性能

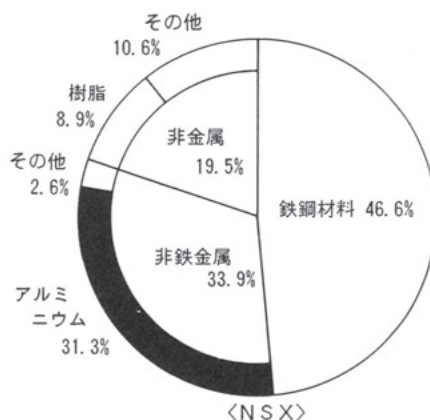
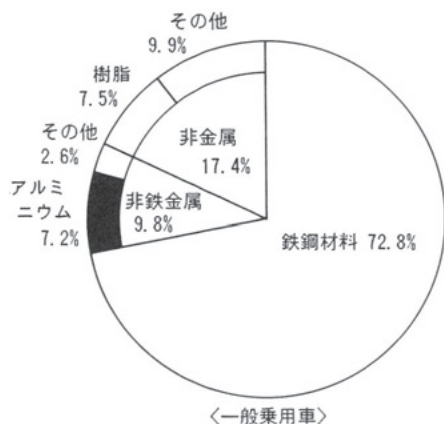


図5 NSXの材料構成比率 (重量比率)

そのような狙いを満足し、軽量化効果を最大限に発揮しつつ、その他の要求特性をバランス良く満足する素材としてアルミニウム材料を選定した。

2.2. 軽量化率と構成材料

NSXはアルミニウムを多く採用することにより車全体で約200kg、ホワイトボディで約140kgの軽量化を達成している。

車全体の材料構成比率を図5に示す。従来の一般乗用車では7.2%であったアルミニウムの使用比率がNSXでは31.3%にまで拡大した。本格量産化レベルとしては初の試みである。

3. ホワイトボディの構造と適用材料

3.1. ボディ構造と強度剛性

自動車ボディの三要素は強度、剛性、そしてスペースの構成である。そのため、部位毎に構造のあり方、断面の大きさ、材料の選択を行った。図6にNSXアルミニウムボディの設計の要点について示す。

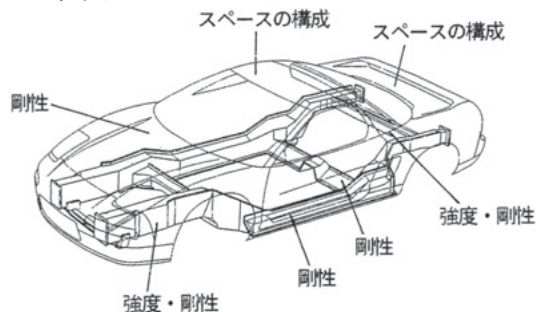


図6 アルミニウムボディ設計の要点

スポーツカーの操縦安定性にとってボディ剛性は非常に重要な要素である。よりボディ剛性を上げるために各フレームの断面は許される限り大きくした。更に図7に示すサイドシルでは、スポット溶接で接合されるアルミニウム板プレス品に対し強度剛性面で優れるアルミニウム押出し品を適用した。

ルーフを除く外板はすべてボディ本体にボルトによって組付ける構造とした。

3.2. ボディ用アルミニウム材料

ボディ各部位の要求特性に応じたアルミニウム材料を適用した。その内容を図8に示す。

- (1) パネルアウター材料: 耐食性及び成形性に優れ、時効硬化性を有する6000系開発材料を適用した。
- (2) パネルインナー材料: 成形性及び耐食性に優れた5052-Oを適用した。

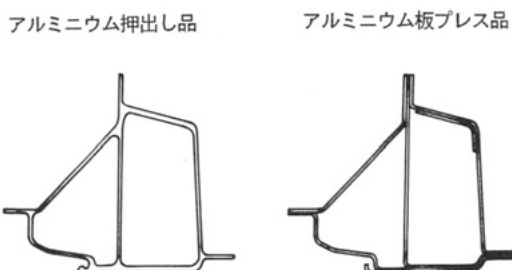


図7 アルミニウム押出しおよびアルミニウムプレスサイドシル比較

- (3) 骨格材料: 強度、溶接性に優れた 5182-O を適用した。
- (4) サイドシル押出し材料: 押出し性、溶接性に優れた 6000 系開発材料を適用した。

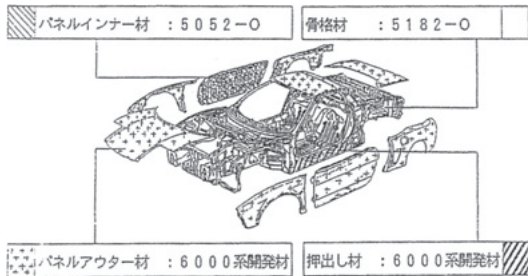


図8 ボディ部位毎の適用材料

4. アルミニウム材料

4.1. パネルアウター用 6000 系開発板材料

パネルアウター材料に要求される性能は、強度、耐食性は勿論のこと、成形性、溶接性、表面処理性等の加工性が重要である。求める材料特性としては、成形時には耐力は低いが成形性は良く塗装時の時効硬化によって完成状態では冷延鋼板と同等の耐力を持つこと、且つ溶接性、耐食性においても優れた材料であることを開発の狙いとした。

まず、Cu が耐糸錆性に及ぼす影響について検討した。図9に示すように、Cu 添加量が増す程、耐糸錆性能は低下する傾向にあり、Cu は有効添加元

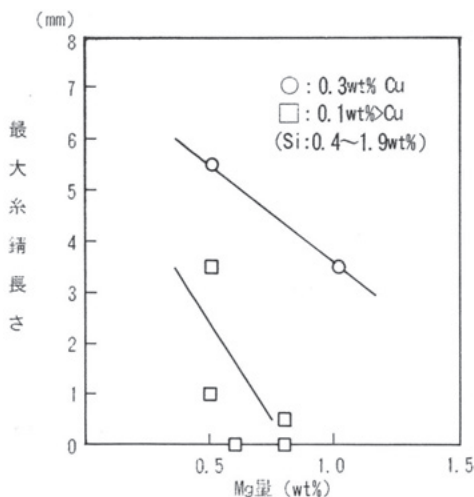


図9 Mg 添加量と耐糸錆性

素から除いた。更に Cu が 0.1wt% 以下で、且つ Si が 0.4~1.9wt% の範囲の場合、Mg は 1.0wt% 近傍まで添加されれば耐糸錆性は良い傾向にあることから、Mg は 1wt% 近傍に設定した。Si は強度、成形性とのバランスを考え 1wt% 近傍に設定した。

図10に開発合金の時効曲線を示す。図中に示す様に、実際の塗装ラインの熱履歴により耐力が 60 MPa 程度向上する (ベークハード効果)。これは 180℃ では 1 時間程度の履歴に相当する。この様にして、強度、成形性とのバランスも良く耐糸錆性にも優れ、更に塗装乾燥炉の熱で、材料強度が増す材料が開発できた。

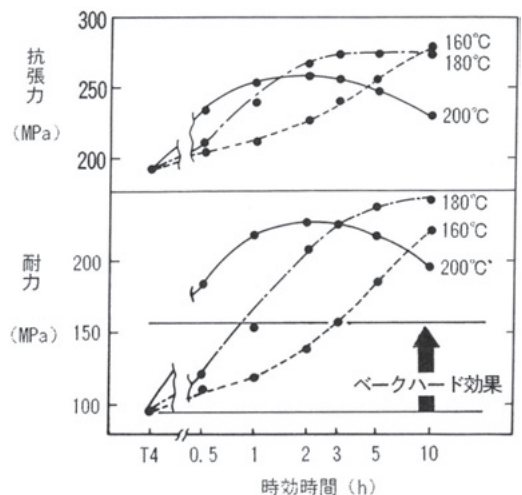


図10 パネルアウター材の時効曲線

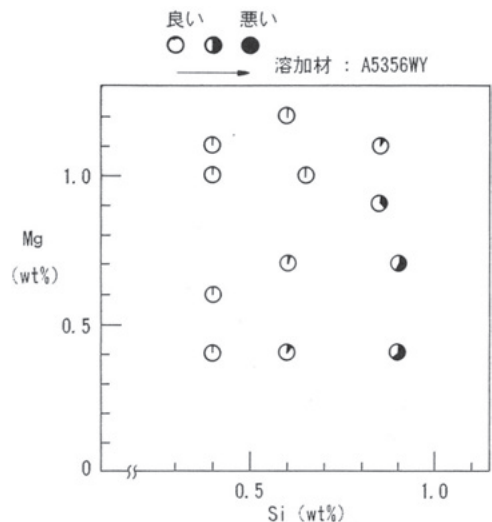


図11 Mg・Si 成分設定と溶接割れ性

4.2. サイドシル用 6000 系開発押出し材料

サイドシルはボディ骨格の中でも強度、剛性上最も重要な部位であり、軽量化効果を最大限に発揮するためにも大径、薄肉形状を達成し、且つ溶接性の優れた材料を開発の狙いとした。開発に当たっては6N01をベースに6N01の押出し性を保持し、溶接部のミクロポロシティの発生を少なくするた

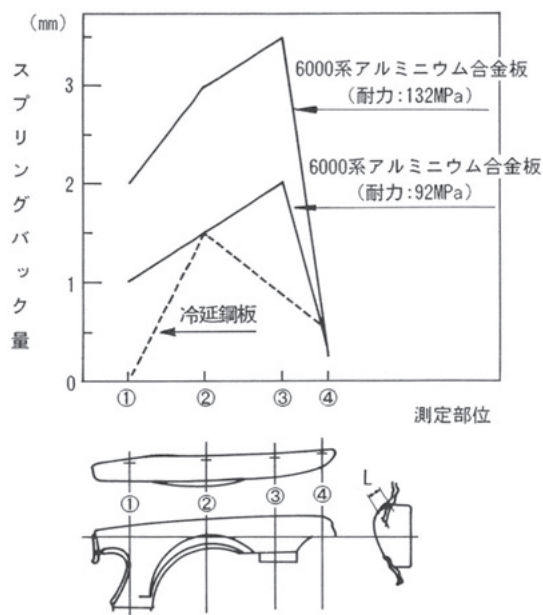


図 12 耐力とスプリングバックとの相関

めに Mg, Si の適正配合を検討した。その結果を図 11 に示す。Mg リッチな成分構成とすることで狙いを達成した。

5. アルミニウムプレス成形技術

5.1. 材料特性と成形能

材料特性と成形能との相関を表 1 に示す。

表 1 材料特性と成形性との相関

成形不具合	材料特性上の改良の方向性
シワ	低耐力・高 r 値・高 n 値
形状凍結性	低耐力
キレツ	高伸び・高 r 値・高 n 値・低耐力

アルミニウムのプレス成形において考えることは、まず材料の延性を上げることで成形時の破断を克服し、次に形状凍結性を上げることで部品の要求する精度を達成することである。特にパネル OUTER 材としては、他の諸特性とのバランスを保ちつつ、いかに低耐力側に持っていかをポイントに検討を行った。図 12 に材料の耐力とスプリングバック量の関係について示す。耐力が 132MPa

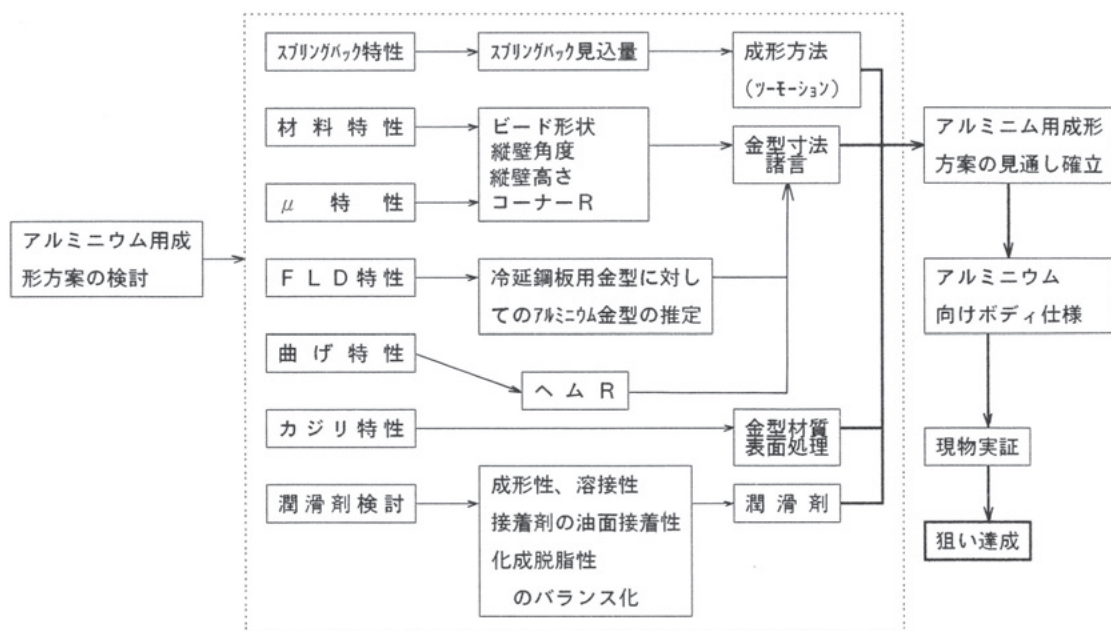


図 13 アルミニウム用成形方案の検討フロー

から 92MPa と小さくなるとスプリングバック量は約 1/2 となることが判った。

5.2. 成形方案

“成形能の低いアルミニウムを用いて、いかに要求形状、成形品質を確保するか”について、図 13 のフローでアルミニウム用成形方案の開発を進めた。特にポイントとなるのは次の点である。

- (1) 曲げ R、へム R 設定は、割れが発生しない範囲で極力小さくした。
- (2) カジリやキレツを防止するためにビード形状を含めた金型方案の最適化を行った。
- (3) 成形性に優れ、塗布性能、溶接性能、接着剤の油面接着性、化成ラインでの脱脂性をも考慮した潤滑剤の適用を行った。

5.3. 生産上のポイント

- (1) アルミニウムは非磁性のため、マグネットが使用できないので、バキュームによる搬送を行うこと。
- (2) アルミニウムはキズ付き易いため、搬送キズ防止対策が必要。
- (3) アルミニウムは、冷延鋼板に対し軟質であるため、目づまり防止と糸錆発生原因となる鉄粉混入防止上、アルミニウム用の専用バフが必要。

6. アルミニウム接合技術

6.1. スポット溶接

6-1-1 溶接機

溶接機としては定置型とポータブル型の併用で、前者は、部分組み立ての際に、特に厚板領域で使用している。後者は、部分組み立ての際の薄板領域とメインアッセンブリーの際に使用している。電源は力率が高く、省電力、溶接品質の良いインバータ式と三相整流式を採用した。又、ポータブルガンは電流損失の少ないトランス内蔵型のガンを採用した。

6-1-2 溶接条件

溶接条件については各材料・板厚毎に溶接スパッタの発生限界、溶着限界を求め、その間で強度、品質、連続打点性の良い条件を選んだ。骨格材料

の 5182 - O において、2.0t-2.0t の板組みで確認した結果を代表例として図 14 に示す。

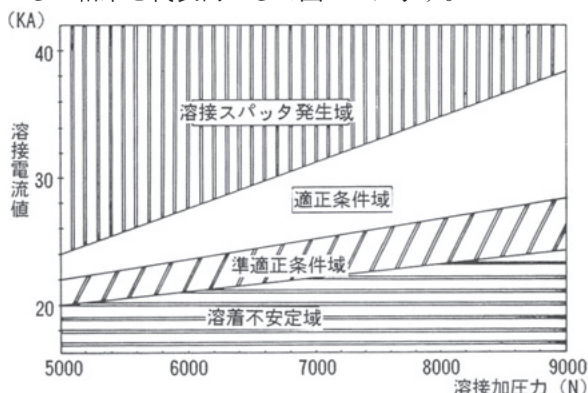


図 14 スポット溶接条件と溶接品質の関係

6-1-3 最小ピッチ、フランジ幅

冷延鋼板と同等のスポット溶接強度耐久性を確保するには、板厚増加と打点数増加が必要である。板厚は冷延鋼板に対し 1.4～2.2 倍とし、打点数増加はピッチが狭まることによる溶接電流の分流で強度低下が起こり得るので、強度低下の起きない最小ピッチとフランジ幅の設定を行った。その結果を表 2 に示す。

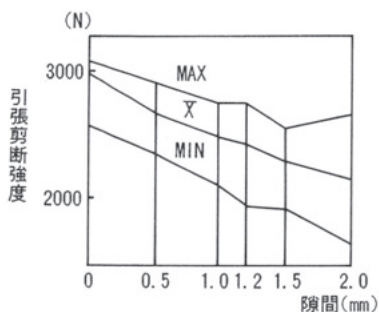
表 2 最小ピッチ・最小フランジ幅

板 厚 (mm)	0.8	1.0	1.2	1.6	1.8	2.0	2.5	3.0	3.5
最 小 ピ ャ ッ (mm)	18	20	22	24	26	28	32	36	39
最 小 フ ラ ン ジ 幅 (mm)	16	16	16	20	20	22	22	25	25

6-1-4 隙間、傾きの影響

アルミニウムは鋼材に比べヤング率が小さいため、成形品のバックリングが大きくなり約 3 倍になる。その結果、接合部の合わせ精度は低下し、隙間、シワができ強度低下の原因となる。テストピースでの強度低下を確認した結果を図 15 図 16 に示す。テストピース形状を図 17 に示す。

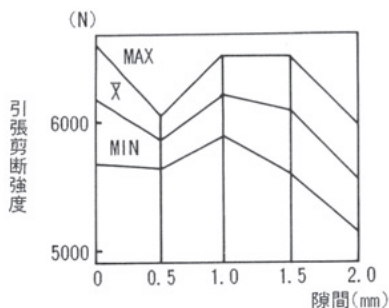
冷延鋼板は隙間 1.5mm まであまり強度低下がないのに対し、アルミニウムは隙間 1.5mm で 23% の強度低下が起きる。溶接加圧力が密着のための加力分だけ減少することで、通電路が狭くなり、電流とのバランスがくずれチリの発生が多くなるといことが原因している。



材料：パネルアウター用6000系開発材(1.0t)

隙間 (mm)	強度低下率 (%)	破断形態 糸引/シアー	チリ発生	強度バラツキ (N)
0	—	10/0	0	157
0.5	-10	9/1	0	189
1.0	-16	8/2	2	230
1.2	-18	7/3	3	208
1.5	-23	3/7	10	206
2.0	-28	3/7	3	288

図 15 隙間と溶接強度の関係（アルミニウム）



材料：冷延鋼板(1.0t)

隙間 (mm)	強度低下率 (%)	破断形態 糸引/シアー	チリ発生	強度バラツキ (N)
0	—	8/2	7	357
0.5	-5	10/0	10	108
1.0	+1	10/0	7	190
1.5	-1	10/0	10	320
2.0	-10	10/0	10	254

図 16 隙間と溶接強度の関係（冷延鋼板）

実際のワークで隙間と密着荷重の関係を調べた結果を図 18 に示す。フロントサイドフレームにシムを挟んで隙間を作りチップで加圧し密着荷重を測定した。隙間 0.5～1.5mm で荷重 1000～1500N、隙間 2.5～3.0mm で荷重 2000～3000N が密着に必要な加圧力であることがわかる。この低下分を見越して溶接条件の設定を行った。

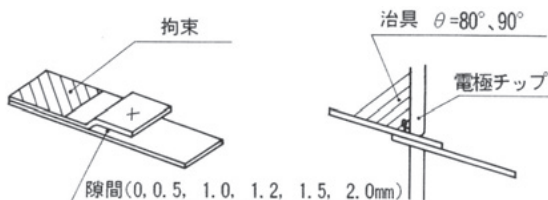
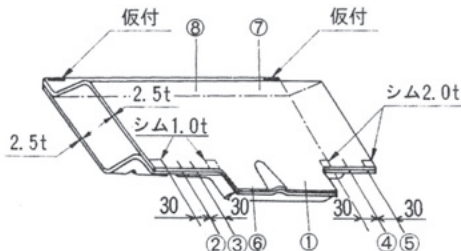


図 17 テストピース形状



No.	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
シム厚 (mm)	2.0	1.0	1.0	2.0	2.0	1.0	—	—
隙 間 (mm)	2.6	3.0	2.0	2.8	2.45	3.05	0.5	1.5
密着荷重 (N)	2800	1700	1100	3000	2200	1350	1000	1500

図 18 フロントサイドフレームでの隙間と密着荷重の関係

チップの傾きによる強度低下は図 19 に示す通りで 10° 傾くと 25% の強度低下となる。溶接作業の正確さと、ワーク精度の向上、作業性の良い溶接機、余裕のある溶接条件等が要求された。

6.2. メカニカル締結

6-2-1 締結部の防錆対策

ボルト締結としては耐食性、接触腐食対策とボディへのナットの取り付け方法が課題となった。アルミニウムと鉄の接触腐食では電位的に卑なアルミニウムが腐食されるため、ボルトの表面処理にはダクロ処理、ダクロトルカー処理を用いた。図 20 にその基本仕様を示す。

6-2-2 各種締結法

冷延鋼板製ボディで用いているプロジェクション溶接ナットをアルミニウムに適用することは技術的に困難なため、表3に示す各種締結法を採用した。

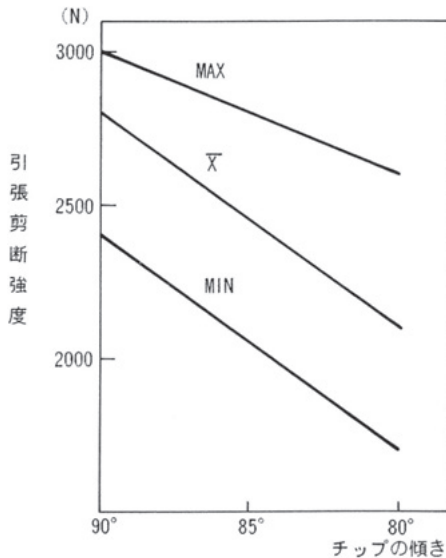


図 19 チップの傾きと強度

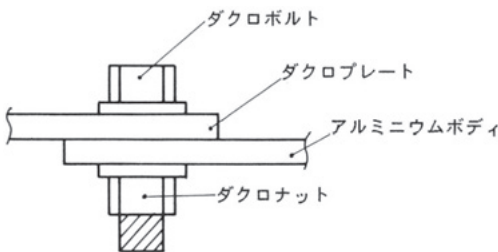


図 20 ボルト締結の基本仕様

表 3 各種締結手法

締結法	仕様	適用部位
溶接ナット	A6063-T5	補器取り付け部位等
フローティングナット	Feナット+ダクロート A5182-0	足廻り部品取り付け部位等
ポップナット	A6061-T6	リアフェンダー取り付け部位等

(1) 溶接ナット

- ・アルミニウム押出し形材を使用。
- ・接触腐食の心配無し。
- ・スポット溶接、アーク溶接で取り付け可能。

(2) フローティングナット

- ・高強度部位に適用可能。
- ・鉄のナットにダクロ処理を施し、接触腐食対策を行った。
- ・スポット溶接、アーク溶接で取り付け可能。

(3) ポップナット

- ・簡単な締結構造。
- ・ボディとの接触腐食の心配無し。
- ・スペースを取らず一方向からの締結が可能。

6.3. 接着

6-3-1 アルミニウム接着剥離の特徴

アルミニウム合金の接着では冷延鋼板の場合と

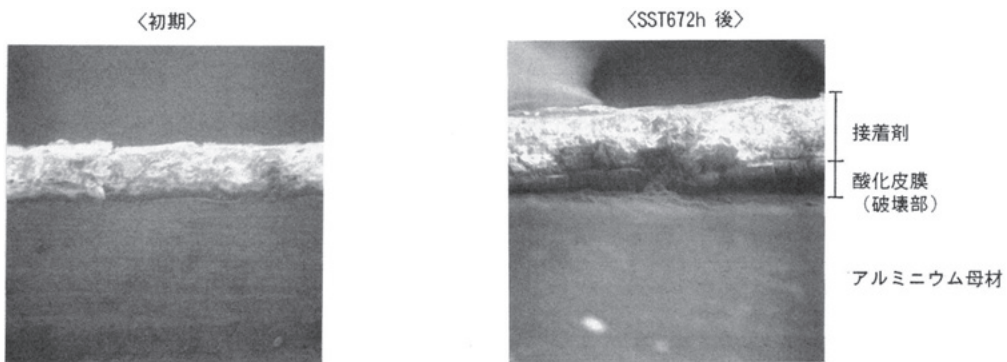


図 21 前処理を施さない試験片の初期及び塩水噴霧試験 672h 後の破壊部位の差異

異なり、表面に形成された酸化皮膜の挙動が重要なポイントとなっている。図 21 に剪断試験後の接着破断面断面を示す。接着剤の凝集破壊が発生している初期に対し塩水噴霧 (SST) 672h 後では、接着界面下での破壊が起きている。これにともない、接着強度は著しく低下していく。

6-3-2 剥離メカニズムと防止手法

図 22 に酸化皮膜の劣化メカニズムとその防止手法についての模式図を示す。酸化皮膜は H_2O もしくは OH^- の進入によって水和化し、非常に脆弱な層となる。このため通常ではクロム酸クロメート等の化成処理を施して防止するが、本開発では接着剤中に酸化皮膜の金属成分とキレート反応を生じる防錆剤を添加し、水和化の防止をはかった。また合わせて油面接着性も付与させたため一切の前処理なしで接着が可能となり、接着工程での生産性が格段に向上した。

図 23 に新開発接着剤の塩水噴霧試験後の耐久性確認結果を示す。既存の接着剤は 1～2 カ月で剥がれてしまうのに対し、開発剤は、クロム酸クロメート処理に迫る接着耐久性を持つことが判った。

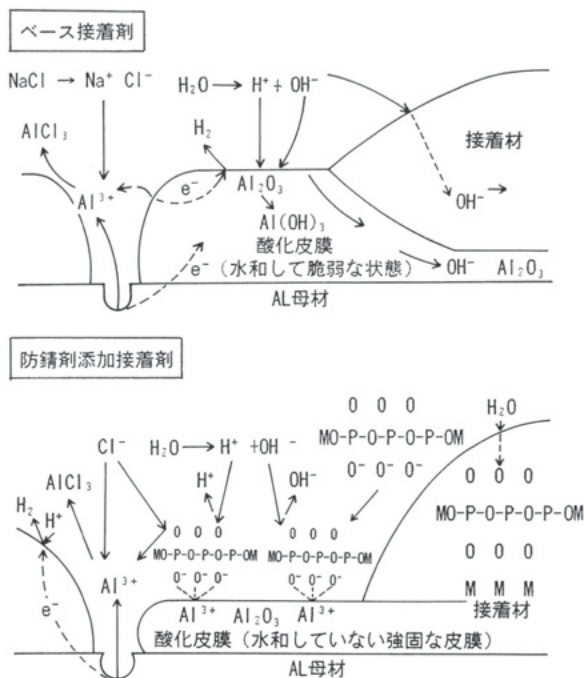


図 22 酸化皮膜の水和化防止に関する推定メカニズム

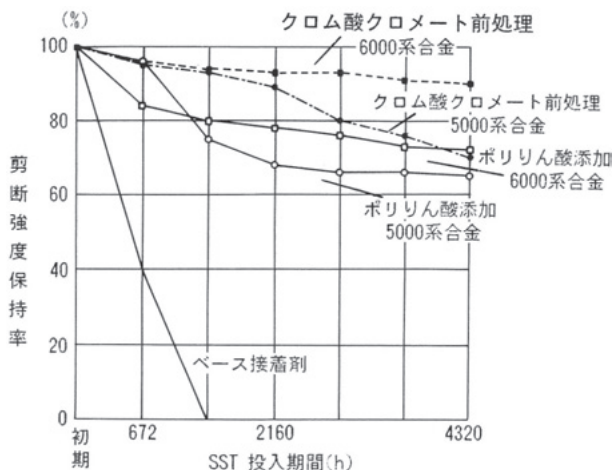


図 23 防錆剤添加及び油面接着性向上による効果
(油面：エステル系プレス油)

7. 結 論

- (1) パネルアウター用の材料として、強度、成形性とのバランスが良く、耐糸錆性にも優れた時効硬化型の Al-Mg-Si 系アルミニウム合金を開発した。
- (2) サイドシル用の材料として、押出し性、溶解性良好な Al-Mg-Si 系アルミニウム合金を開発した。
- (3) アルミニウム用成形方案が確立され、要求形状の成形を可能とした。
- (4) アルミニウムモノコックボディとして必要とされるスポット溶接の接合強度、条件、仕様 の確立をした。
- (5) 締結部に使用される鉄部品の防錆処理としてダクロ処理を主として設定した。また部位毎に溶接ナット、フローティングナット、ポップナットを適用した。
- (6) アルミニウム用の接着剤として前処理なしで耐久性の優れたものを開発した。
- (7) これらの新技術によりオールアルミニウムボディの量産化がなされ、NSXのボディ重量は冷延鋼板製に対し約 140kg の軽量化を達成した。

■著 者■



小 松 泰 典



伴 恵 介



村 岡 康 雄



矢羽々 隆 憲



安 永 晋 拓



塩 川 誠