溶接教室 接合教室
—実践編—
第６回　鉄道・車輌

「鉄道・車輌（材料編）」*

岡　田　俊　哉**

Railway Rolling Stock (Materilals) *

by OKADA Toshiya**

キーワード　鉄道，車両，構体，アルミニウム合金，溶接・接合

1. はじめに

鉄道車両における車体の主要構造部分は「構体」と呼ばれるが，現在構体に用いられている材料は「普通鋼」，「ステンレス鋼」，「アルミニウム合金」の３種類に大別される．それぞれの材料が適材適所，目的・用途に応じて選定されている．表１[1]にこれら材料の特徴を示すが，以下アルミニウム合金について紹介する．1930年頃，航空機に用いられているジュラルミン（Al-Cu 系合金；2000系合金）が満鉄向けのガソリン輸送車の外板に採用されたとの記録があるが，アルミニウム合金が本格的に旅客車両に採用されたのは1962年の山陽電鉄2000系車両が初めである[2]．その後，2012年３月度までに累計19,399両のアルミニウム合金製車両が製造されている[3]が，新合金の開発とともに構体構造や接合方法が変遷してきた．

2. 鉄道車両用アルミニウム合金材の種類（適用材料と製造プロセス）[4]

2.1 種類

鉄道車両の構体に用いられるアルミニウム合金は主に板，押出形材，管，棒，鍛造品などの展伸材である．この展伸材は「非熱処理型合金」と「熱処理型合金」に大別され，以下のように分類されている．

○非熱処理型合金
- 純アルミニウム（1000系）
- Al-Mn 系合金（3000系）
- Al-Si 系合金（4000系）
- Al-Mg 系合金（5000系）

○熱処理型合金
- Al-Cu-Mg 系合金（2000系）
- Al-Mg-Si 系合金（6000系）
- Al-Zn-Mg-(Cu) 系合金（7000系）

非熱処理型合金は製造まま，あるいは圧延，押出し，引抜きなどの冷間加工によって，熱処理型合金は焼入れ，焼きもどしなどによって，それぞれ所定の強度を得るものである．ただし，熱処理型合金の場合でも，熱処理によって得られる強度よりさらに高い強度を得るために冷間加工をすることがあり，一方非熱処理型合金に対しても，焼きなましや安定化処理のような熱処理が施されることがある．

2.2 調質

アルミニウム合金は上記のように冷間加工，溶体化処理（焼入れ），時効硬化処理，焼きなましなどによって，強度，成形性その他の性質を調整する．このような操作によって所定の性質を得ることを調質といい，調質の種類を質別という．アルミニウム合金の性質は質別によって著しく変わるので材料の使用目的，加工方法に応じて最も適したものを選ぶことが重要である．ここではJIS 規格に規定されている質別とその概略を示す．

表１　鉄道車両構体の材料別特徴[1]

		普通鋼製	ステンレス鋼製	アルミニウム合金製
軽量性		△	○	◎
低価格性		◎	○	△
耐食性		△	◎	○
外板	表面	平面	波付/ダル	平面
	塗装	要	不要/不要	可
	耐汚染性	△	○/△	△
造形性		○	△	○
改造・補修性		◎	△	○
リサイクル性		△	△	○

◎：優れる　○：良い　△：良くない

*原稿受付　平成24年7月30日
**正　　員　古河スカイ株式会社　Member, Furukawa-Sky Aluminum Corp.

表２　アルミニウム合金製車両構体に用いられる合金[5)]

種　別		形態	質別	引張強さ (MPa)	耐力 (MPa)	伸び (%)	押出性	成形性	溶接性	耐食性	用途	備考
Al－Mg系	5005	P	O	108～147	≧34	≧21	○	◎	◎	◎	床板，屋根板	
		P	H14	137～177	≧108	≧3						
		P	H18	≧177	－	≧3						
	5052	P	O	177～216	≧64	≧19		◎	◎	◎	屋根骨組，戸	最近あまり用いられない
	5083	P	O	275～353	127～196	≧16	△	○	◎	◎	外板、骨組	無塗装外板用，構体への利用覆い
		S	H112	≧275	≧108	≧12						
Al－Mg－Si系	6061	P	T6	≧294	≧245	≧10	○	○		○	外板，骨組	リベット構造強度部材
		S	T6	≧265	≧245	≧8						
	6N01 (6005C)	S	T5	≧245	≧206	≧8	◎		○	◎	台枠，骨組，外板（形材）	
	6063	S	T5	≧157	≧108	≧8	◎	○	◎	◎	屋根板（形材），窓枠，内装	複雑な形状，アルマイト性良い
Al－Zn－Mg系	7N01 (7204)	P	T4	≧314	≧196	≧11	○	○	◎	○	台枠，骨組	溶接構造強度部材，溶接強度高い
		S	T5	≧324	≧245	≧10						
	7003	S	T5	≧284	≧245	≧10	◎	○	◎	○	台枠，骨組，外板（形材）	

JIS規格値（板厚2.5mm程度）　P：板材　S：形材　◎：優れる　○：良い　△：良くない

表３　車両用アルミニウム合金の化学成分（JISH4000, H4001-2006より 抜粋）

合金	化学成分（%）												
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	V		Ti	その他 個々	その他 合計	Al
5005	≦0.30	≦0.7	≦0.20	≦0.20	0.50～1.1	≦0.10	≦0.25	－		－	≦0.05	≦0.15	残部
5052	≦0.25	≦0.4	≦0.10	≦0.10	2.2～2.8	0.15～0.35	≦0.10	－		－	≦0.05	≦0.15	残部
5083	≦0.40	≦0.40	≦0.10	0.40～1.0	4.0～4.9	0.05～0.25	≦0.25	－		≦0.15	≦0.05	≦0.15	残部
6061	0.40～0.8	≦0.7	0.15～0.40	≦0.15	0.8～1.2	0.04～0.35	≦0.25	－	－	≦0.15	≦0.05	≦0.15	残部
6N01 (6005C)	0.40～0.9	≦0.35	≦0.35	≦0.50	0.40～0.8	≦0.30	≦0.25	－	Mn+Cr ≦0.50	≦0.10	≦0.05	≦0.15	残部
6063	0.20～0.6	≦0.35	≦0.10	≦0.15	0.45～0.9	≦0.10	≦0.10	－	－	≦0.10	≦0.05	≦0.15	残部
7N01 (7204)	≦0.30	≦0.35	≦0.20	0.20～0.7	1.0～2.0	≦0.30	4.0～5.0	≦0.10	Zr≦0.25	≦0.20	≦0.05	≦0.15	残部
7003	≦0.30	≦0.35	≦0.20	≦0.30	0.50～1.0	≦0.20	5.0～6.5	－	Zr 0.05～0.25	≦0.20	≦0.05	≦0.15	残部

表４　車両用アルミニウム合金材に用いる溶加材の選定指針（JIS Z 3604-2002 より抜粋）

母材	7N01 (7204) 7003	6061 6NO1 (6005C) 6063	5083	5052	5005
5005	5356 (1)(2)	4043 (1)(2)(3)(5)	5356 (1)	5356 (1)(2)(3)(4)	5356 (1)(2)(3)(6)
5052	5356 (1)(2)	4043 (1)(2)(3)(5)	5356 (1)	5356 (1)(2)(3)	
5083	5356 (1)	5356 (1)	5183 (1)		
6061 6N01 (6005C) 6063	5356 (1)(2)(3)(4)	4043 (1)(2)(3)			
7N01 (7204) 7003	5356 (1)				

注（1）5356,5556または5183を用いてもよい
（2）5654または5554を用いてもよい
（3）用途によって4043を用いてもよい
（4）4047を用いてもよい
（5）陽極酸化皮膜後、色調差を生じてならないときは5356を用いたほうがよい
（6）母材と同組成の溶加材を用いてもよい

表５　車両用アルミニウム合金材に用いる主な溶加材の化学成分（JIS Z 3323-2000 より抜粋）

種類	化学成分（%）											備考
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	その他 個々	その他 合計	Al	
5356	≦0.25	≦0.40	≦0.10	0.05～0.2	4.5～5.5	0.05～0.20	≦0.10	0.06～0.20	≦0.05	≦0.15	残部	溶接性もよく、基本的な溶加材の一つ 5183より耐力、靭性が若干劣る。
5183	≦0.40	≦0.40	≦0.10	0.50～1.0	4.3～5.2	0.05～0.25	≦0.25	≦0.15	≦0.25	≦0.15	残部	溶接性に優れ、機械的性質、耐食性とも良好で広範囲に用いられる基本的な溶加材の一つ
4043	4.5～6.0	≦0.8	≦0.30	≦0.05	≦0.05	－	≦0.10	≦0.2	≦0.05	≦0.15	残部	高温割れに対する抵抗力が強い。延性、靭性が低く、陽極酸化処理により黒色となる。

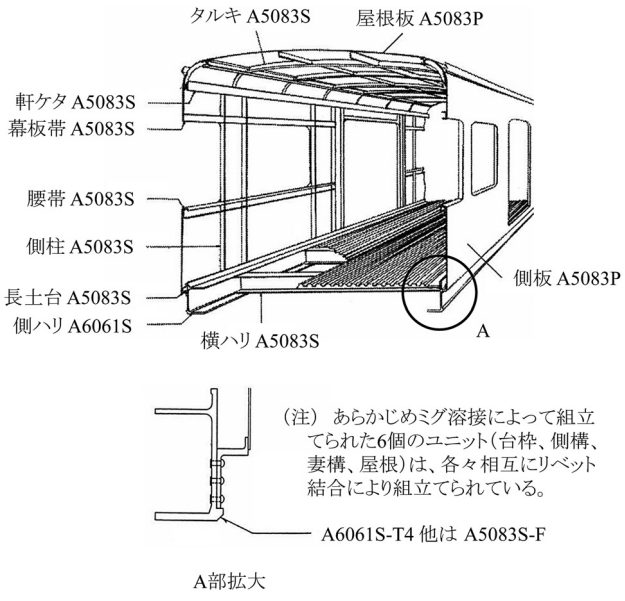

図１　第１世代車両の構体構造（山陽2000系）[5, 10]

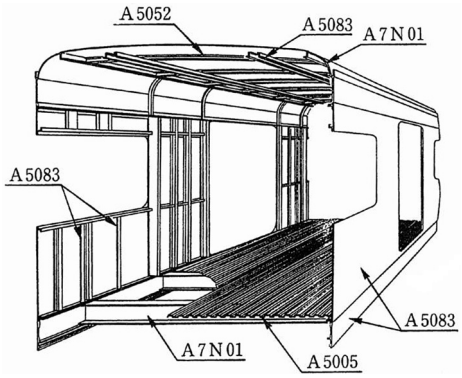

図２　第２世代車両の構体構造（営団6000系）[11]

非熱処理型合金に用いられる質別記号は「O」と「H」である．O：最も軟らかい状態を得るように焼きなまし熱処理をおこなったものに用いる．H：加工硬化したもの．強度が低下するような追加の熱処理のあるなしにかかわらず冷間加工にて機械的特性を調整（増した）した場合に用いる．H の後にはその加工の度合いを示す数字が常に２つまたはそれ以上付けられる．

熱処理型合金に用いられる質別記号は「O（同上）」と「T」である．T：熱処理によって O, H 以外に安定な質別にした状態を示す．追加の加工硬化処理のあるなしにかかわらず，安定調質に熱処理を行い，T の後にはその状態を示す数字が常に１つまたはそれ以上付けられる．

2.3　適用材料

鉄道車両用アルミニウム合金の主な種類と用途を表２[5]に，その合金組成を表３に示す．また表４は車両用アルミニウム合金材に用いる溶加材の選定指針（JISZ3604-2002より抜粋），表５は車両用アルミニウム合金材に用いる主な溶加材の化学成分（JISZ3232-2000 より抜粋）をそれぞれ示す．なお，6N01 合金および 7N01 合金は2005年６月に「展伸材用アルミニウム及びアルミニウム合金の国際合金記号化制度」に登録され，次の JIS 改正時に番号を 6N01 合金が 6005C に，7N01 合金が7204へと置き換えられる予定

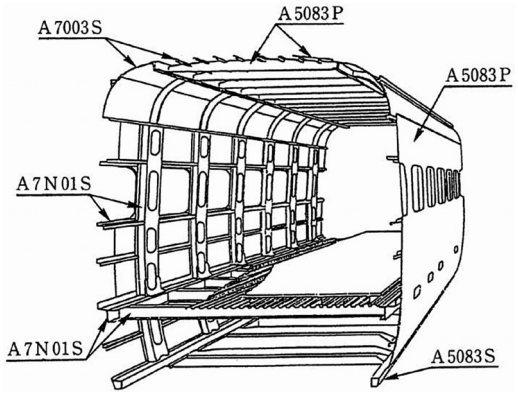

図３　第２.５世代車両の構体構造（新幹線 200 系）[12]

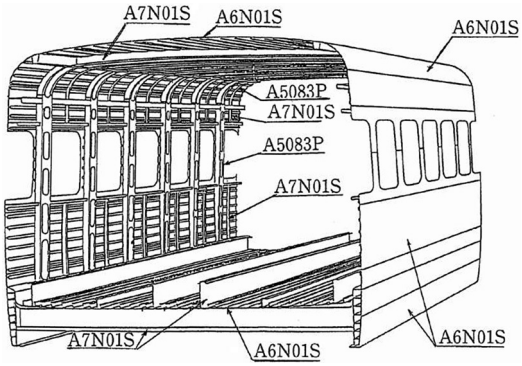

図４　第３世代車両の構体構造（新幹線 300 系）[6]

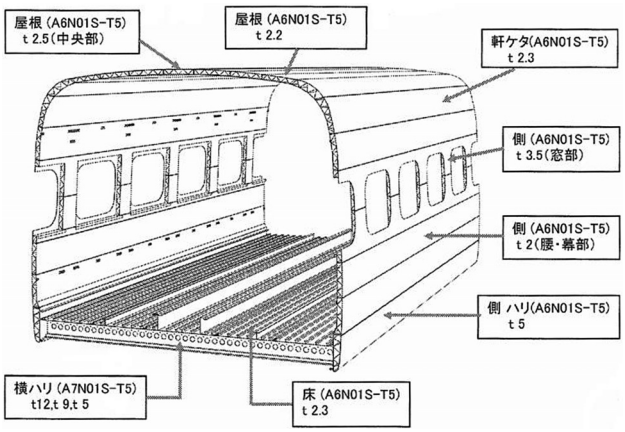

図５　第４世代車両の構体構造（新幹線 700 系）[8]

であるが，ここではこれまでの慣例もあり，旧記号との併用で表記する．

2.4　適用材料の変遷と溶接工法[5–9]

アルミニウム合金が最初に本格採用された「第１世代」の鉄道車両は，船舶などの溶接構造物で多く使用されていた5083（Al-Mg 系合金）合金および5052（Al-Mg 系合金）合金板材と6061（Al-Mg-Si 系合金）合金押出形材を外板と骨材に用いた構造であった．それぞれの部材をブロックごとにティグ溶接，ミグ溶接，ミグスポット溶接にて組み上げ，そのブロックをリベットにより結合する工法が採用されていた（図１）[5, 10]．

第１世代から２年後の1964年に，山陽電鉄3000系車両が登場し，5083合金および5052合金板材と，わが国で開発さ

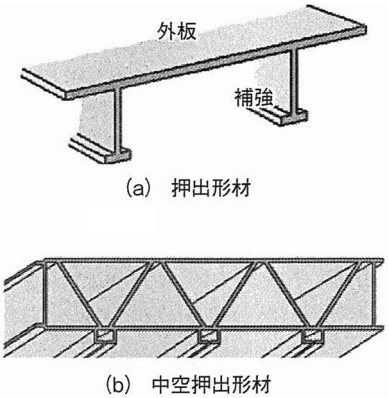

図6　アルミニウム合金押出形材の例[13]

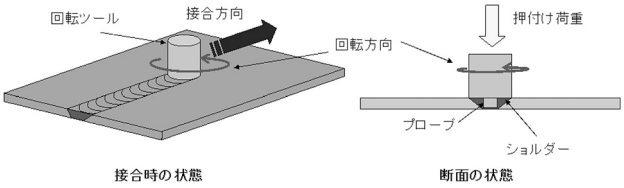

図7　摩擦攪拌接合（FSW）の外略図

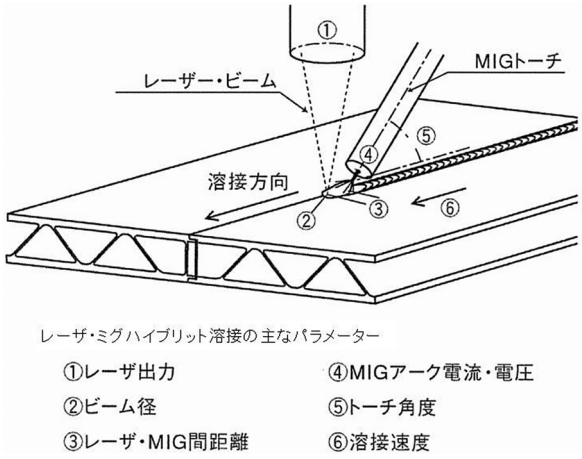

図8　レーザ・ミグハイブリット溶接概略図[14]

れた高強度溶接構造用合金7N01（7204：Al-Zn-Mg系合金）合金押出形材を主材料としたオール溶接施工の「第2世代」車両（図2）[11]へと移った．ここでの工法として，外板と骨組との溶接には抵抗スポット溶接，台枠，骨組などの溶接にはミグ溶接が用いられた．

さらに「第2．5世代」車両として，高速車両の代表である新幹線（1982年　営業開始の東北・上越新幹線200系）に初めてアルミニウム合金車体が登場した．ここでは7N01（7204）合金押出形材，7003（Al-Zn-Mg系合金）合金押出形材，5083合金押出形材，板材および5052合金板材を用いられ，ミグ溶接およびスポット溶接にて施工された．

1980年には押出加工性，溶接性および耐食性に優れた6N01（6005C：Al-Mg-Si系）合金が開発された．複雑で大型薄肉形状部材の長尺化が可能となったことにより，シングルスキン構体と呼ばれる外板と補強材を一体にしたような構造が多用された．そのため，外板（板材）を使用せず6063（Al-Mg-Si系）合金押出形材および7N01（7204）合

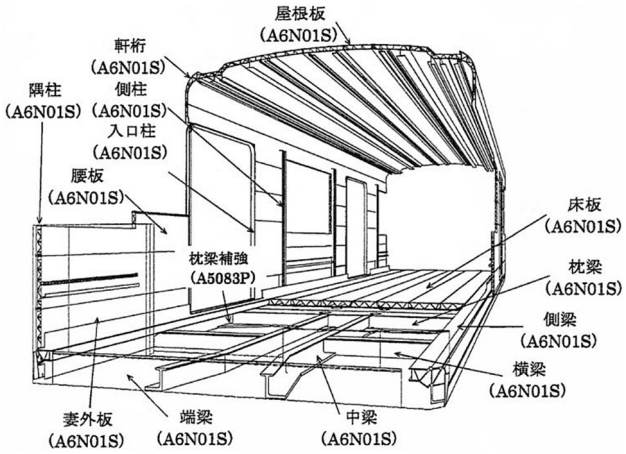

図9　05系13次車　構体透視図[15]

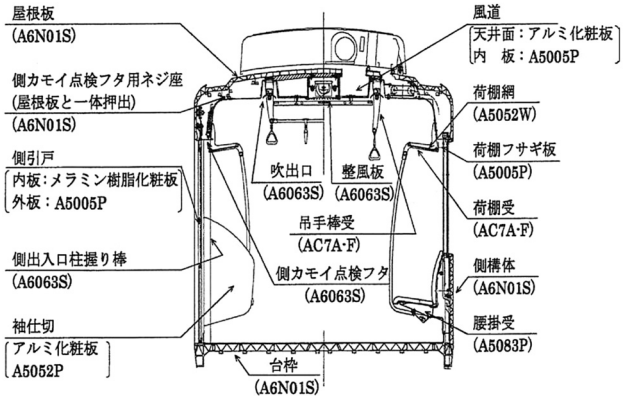

図10　05系13次車　車体断面図[15]

金押出形材のみで車両を構成できるようになり，また車両の長手方向に溶接線をとることにより，溶接施工（ミグ溶接）の全自動化が可能となった．これが地下鉄車両や300系新幹線車両（初代のぞみ）へ適用された「第3世代」車両（図4）[6]である．

現在は「第4世代」車両（図5）[8]となっており，第3世代で用いられた6N01合金の中空形状の押出形材が開発されたことから，シングルスキン構造で必要であった内部補強がほとんど不要となったダブルスキン構造が可能となった．図6[13]にシングルスキンおよびダブルスキン押出形材の形状例を示す．また，接合工法の一部がミグ溶接に代わり，FSW（Friction Stir Welding：摩擦攪拌接合）が適用され始めた．FSWは1991年，イギリスのTWIにより開発された接合方法であり，金属の融点以下の温度で接合する固相接合の一種である．概略図を図7に示すが，高速で回転するツールを被接合材中に挿入し，移動させることによりに接合する方法である．回転ツールと被接合材との間で発生する摩擦熱を利用して塑性流動により材料を混合しており，アルミニウム合金には非常に適した接合方法である．また溶融接合に比べ熱ひずみが少ないため，車両の構体のような長尺で大型薄板構造物には適した工法であり，副資材（溶加材）を用いないため軽量化効果も大きく，近年，高速車両だけではなく通勤車両への適用も増えてきている．

一方，車両の屋根構体の溶接にレーザ・ミグハイブリッ

ト溶接も採用され始めている．本工法はレーザとアークの二つの熱源を同一個所へ作用させて溶接する方法である．レーザ溶接は集光された高エネルギー密度のレーザビームを溶接個所へ照射して溶接する方法で，高速度で低ひずみ・深溶込みが特長であるが，一方で隙間・ギャップ裕度や施工誤差裕度が狭く，継手形状の精度や組み立て精度の管理を非常に厳しくする必要がある．特にアルミニウム合金へ適用する際には溶接欠陥を生じやすいため，鋼の溶接に比較してより一層の注意が必要である．これに対してミグ溶接は溶接速度，溶込みではレーザに劣るものの，溶加材を用いるため隙間・ギャップ裕度や施工誤差裕度が広く，施工性には優れている．これらそれぞれの溶接方法の短所を補い，長所を相乗させたものがレーザ・ミグハイブリット溶接であり，図８にその概略を示す[14]．

さらに材料面では，図９，10[15]に示す東京地下鉄05系13次車の車体構造に代表されるように，リサイクル性向上のため室内にも多くのアルミニウム合金製部品を用いられ，単一合金化が進む傾向にある．

3. 材料の特性と溶接性

以上の通り，アルミニウム合金製構体の変遷と共に施工方法も様々なものが採用されてきたが，以下各合金の特性と溶接性について説明する．

3.1 Al-Mg 系合金（5000系合金）

Al-Mg 系合金は，非熱処理合金のなかで構造用合金として広く用いられている．主要添加元素である Mg の添加量が比較的少ないものは装飾用材や器物用材に，添加量が多いものは構造材として用いられる．また，Al-Mg 系合金は総じて，海水や工業地帯の汚染雰囲気に強く，耐候性に優れている．しかし，押出加工性が劣るため薄肉の形材には適しておらず，板材で用いられることが多い．

5005合金は低 Mg 合金の代表的なものであり，車両用内装天井板，建材，器物材として用いられている．5052合金は中程度の強度をもつ材料として最も一般的なものであり，耐食性，加工性がよい．特に静的強度に対する疲労強度が高く，耐海水性が優れている．

Mg 含有量の多い5083合金は非熱処理型合金としては最も軟らかい状態である O 材においても最も優れた強度を持ち，溶接性も良好である．したがって車両をはじめ，船舶，化学プラントなど多くの構造物において溶接構造用材として用いられている．溶接性は非常に良好であるが，継手の特性について，図11[16]に示す 5083P 板厚 6 mm のミグ溶接継手の断面硬度分布測定結果を用いて説明する．

一般的に非熱処理型合金は加工硬化により強度を変化させているが，溶接熱により約200～300℃ 以上に加熱されると急に回復（加工により生じた格子欠陥の再配列）・再結晶（欠陥のない正常な結晶粒に再生すること）による粒成長と軟化が起こる．熱影響部の幅や軟化の度合いは溶接入熱の増加とともに大きくなり，また，母材の加工度が高いほど低い温度で軟化しはじめるので軟化域幅は広くなる．引張試験において，5052合金を溶加材5356で溶接した試験片では余盛の有無にかかわらず熱影響部で破断し，5083合金/5356の組合せおよび5083合金/5183の組合せ試験片では，一般に余盛を削除した場合は溶接金属部から，余盛付きのままでは熱影響部の最軟化部で破断する．表６[17]に

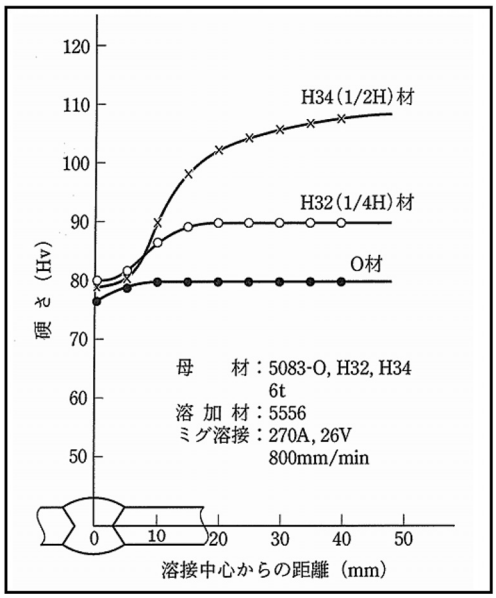

図11　非熱処理合金（5083-O，H32，H34）の溶接部断面硬さ分布例[16]

表６　Al-Mg 系合金（5000系合金）の突合せ溶接継手の引張強度例[17]

区分	合金記号	厚さ（mm）	質別	溶接方法	溶加材	余盛の有無	引張強度（JIS 5号試験片）		継手効率※（%）	破断位置
							引張強さ（MPa）	耐力（MPa）		
板材	A5052P	4～10	O	ミグ	5356	有	198	94	99.0	熱影響部
					5554	削除	196	90	98.0	
		6	H32	ミグ	5356	有	213	137	88.2	
						削除	213	127	88.2	
		3～6	H34	ミグ	5356	有	219	129	86.1	
	A5083P	4～8	O	ミグ	5183	有	301	148	97.8	熱影響部
						削除	280	137	91.1	溶接金属部
		6	H32	ミグ	5556	有	324	167	93.0	熱影響部
形材	A5052S	6	H112	ミグ	5356	有	187	98	98.5	熱影響部
						削除	186	90	97.9	
	A5083S	5	H112	ミグ	5356	有	294	152	92.0	熱影響部
						削除	285	143	89.3	溶接金属部

※ 継手効率は供試母材の引張強さに対して示す

溶接継手の引張試験結果の例を示す．

なお，Al-Mg 系合金への FSW 施工は特に問題なく行えるが，板厚によっては接合速度を余り上げられない，といった制約が接合条件に入る．

3.2 Al-Mg-Si 系合金（6000系合金）

Al-Mg-Si 系合金は熱処理型合金の一つで，強度，耐食性ともに良好で，代表的な構造材料の一つに挙げられる．

6061合金は T6 処理により耐力が 245 MPa 以上となり，SS400 鋼に匹敵する．設計上，たわみを問題としなければ，同等の許容応力がとれるという利点があり鉄塔，クレーンなどに用いられる．

6063合金は優れた押出性を備え，建築用サッシを中心に，6061合金ほど強度を必要としない構造材として使用されている．

6N01（6005C）合金はわが国で開発された合金の一つで6063合金と6061合金の中間の強度を有しており，1982年に JIS に登録された．耐食性，溶接性に優れ，また，押出性にも優れており，複雑な大型薄肉形材に適していることから新幹線をはじめ，多くの鉄道車両構体に用いられている．

この合金系は溶体化処理，常温自然時効：T4（添加合金化合物のアルミニウム中への析出）または人工時効：T6（T4 よりも超微細析出）などの熱処理が行われているために，溶接すると熱影響部は複雑な組織となる．その様子を図12[18]に（6061-T4）示すが，各部の加熱温度に応じて組織が変化していることが分かる．すなわち，溶接金属に隣接して溶融帯・固溶域・軟化域および原質部の 4 領域が形成される．

溶融帯（通称ボンド）は母材の固相線（溶け始め温度）以上に加熱されて粒界が局部的に溶融した領域，固溶域は430～540℃ の溶体化温度（焼入れにより合金成分がアルミニウム中に完全に溶け込む温度）に加熱されたため析出物が再固溶した部分である．軟化域は時効温度以上に加熱されたため析出物が成長し，部分焼きなましにより最も軟化

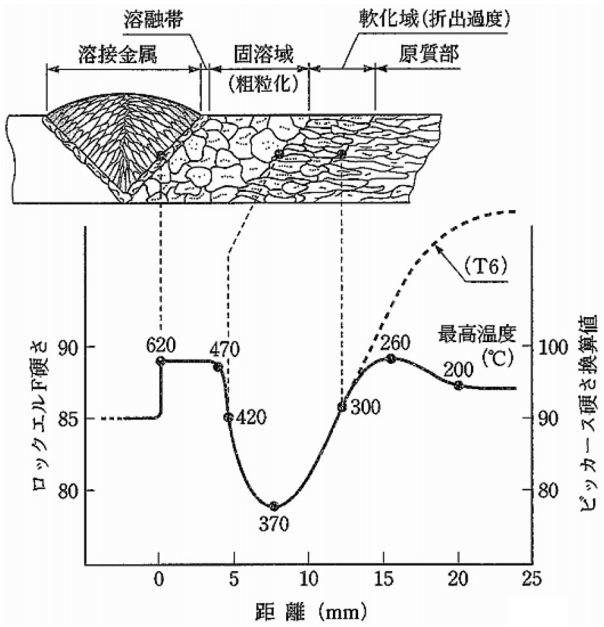

図12　熱処理型合金（6061-T4）の溶接部近傍の組織模式図と硬さ分布[18]

表 7　Al-Mg-Si 系合金（6000系合金）の突合せ溶接継手の引張強度例

区分	合金記号	厚さ (mm)	質別	溶接方法	溶加材	余盛の有無	引張強度（JIS 5号試験片）		継手効率※ (%)	破断位置
							引張強さ (MPa)	耐力 (MPa)		
形材	A6063S	2.5	T5	ティグ	5356	有	129	84	56.0	熱影響部
						削除	129	85	55.0	溶接金属部
					4043	有	129	82	56	熱影響部
						削除	127	81	55	溶接金属部
	A6N01S (6005C)	3	T5	ミグ	5356	有	215	143	75.0	熱影響部
				ティグ			207	137	72.0	
		4	T5	ミグ	5356	有	201	104	68.7	

※ 継手効率は供試母材の引張強さに対して示す

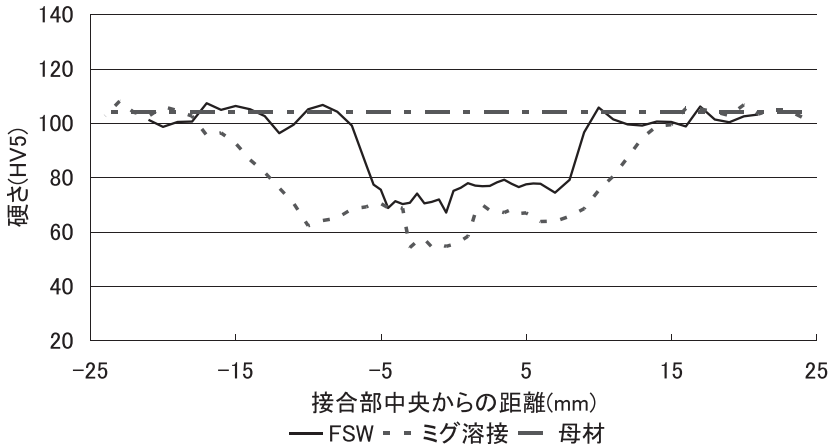

図13　熱処理合金（6N01:6005C-T5 材）溶接部断面の硬さ分布測定結果例

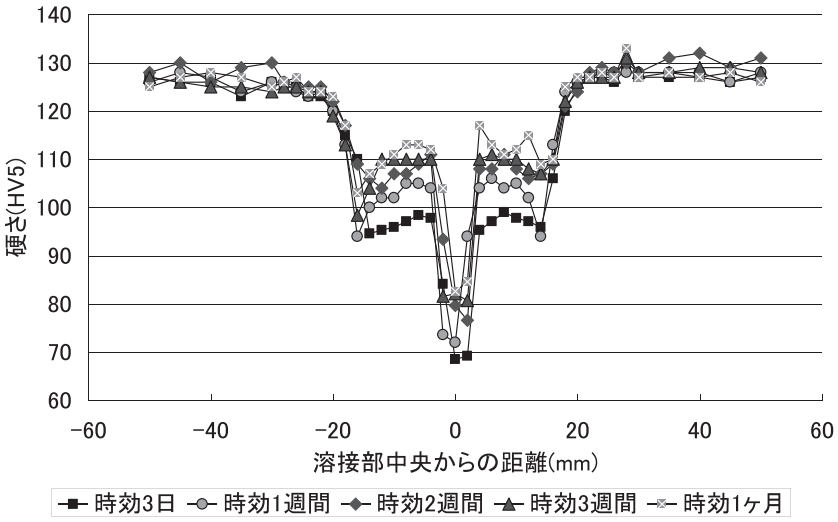

図14　熱処理合金（7N01:7204-T5 材）の溶接による硬度分布の変化例

表8　Al-Zn-Mg 系合金（7000系合金）の突合せ溶接継手の引張強度例

区分	合金記号	厚さ (mm)	質別	溶接方法	溶加材	余盛の有無	室温時効時間	引張強度（JIS 5号試験片）		継手効率※ (%)	破断位置
								引張強さ (MPa)	耐力 (MPa)		
形材	A7N01S (7204)	3	T5	ミグ	5356	有	3日	351	230	80.1	熱影響部
							1週間	362	242	82.6	
							2週間	370	259	84.4	
							3週間	394	276	90.0	
							1ヶ月	397	274	90.7	
	A7003S	2	T5	ティグ	5356	有	3日	270	195	81.0	熱影響部
							1週間	292	222	87.4	
							2週間	298	229	89.2	
							3週間	305	235	91.4	
							1ヶ月	313	241	93.7	

※ 継手効率は供試母材の引張強さに対して示す

した部分であるが，完全軟質材程度まで軟化することはない．

引張試験においては，上記の性質により熱影響部の最軟化部で破断する場合が多いが，一般的には溶接金属部が最軟化部になるため，余盛有りの場合は熱影響部で，余盛無しの場合は溶接金属部で破断する．したがって，溶接ままでは継手効率がやや低くなることを考慮し，用途によってはビス，リベット，ボルト接合を併用した構造が用いられる．

表7に溶接継手の引張試験結果の例を，図13に6N01(6005C)-T5 材，板厚 3 mm のミグ溶接および FSW 継手の断面硬度分布測定結果を示す．ミグ溶接継手の場合，最軟化部は溶接中心部（溶接金属部）であり，熱影響部は左右に 15 mm 程度見られる．一方 FSW 継手の場合，最軟化部は接合部中心付近であるが，その値はミグ溶接材より高く，また，熱影響部の幅も狭くなっている．このような継手特性は施工方法として FSW が多く採用される理由の一つである．

3.3　Al-Zn-Mg 系合金（7000系合金）

Al-Zn-Mg 系合金は，6000系合金と同様，熱処理型合金であり，アルミニウム合金のなかでは最も強度を持つ Al-Zn-Mg-Cu 系合金と，Cu を含まない溶接構造用 Al-Zn-Mg 系合金とに分類できる．後者は一般的に三元合金と呼ばれており，鉄道車両の構体にはこの合金が用いられている．

7N01（7204）合金は 6N01（6005C）合金同様，わが国で開発された合金である．高強度で押出性や溶接性に優れており，溶接による熱影響部も自然時効により母材に近い強さに回復する特徴を有している．欠点として，耐食性がやや劣るため表面に塗装等を必要とすること，塑性加工や溶接後の残留応力により応力腐食割れが発生するため，加工度の限界を守り，溶接継手形状に注意を払う必要があることが挙げられる．構体の台枠など，厚肉で強度の必要な部位に多く用いられている．

7003合金は 7N01（7204）合金の押出性を改良した材料で，6N01（6005C）合金が開発される以前の構体・側・軒部に薄肉材として用いられた．溶接すると6000系合金と同様に軟化領域が形成されるが，この合金系は比較的低い温度（約 450℃）で焼き入れすることができ，しかも冷却速度に対して鈍感なため，空冷でも十分焼入れ効果を発揮する．さらに常温で時効性があるため，溶接後に室温で放置するだけでも時効硬化が進む特性がある．図14に7N01(7204)-T5 材の溶接後の硬さが時効硬化によって変化する様子を示す．また，表8に 7N01(7204)-T5 材および7003-T5 材の溶接継手の引張強さを示すが，時効硬化によって溶接後 3 週間で母材の 90% 程度まで回復していることが分かる．

4. おわりに

鉄道車両における車体の主要構造部分である構体に用いられているアルミニウム合金の諸特性と溶接性について概略を述べた．新合金の登場によりシングルスキンからダブルスキンへの断面形状や薄肉大型形材化も可能となった．また，設計の自由度が増し適用部位が変化することで構体構造も変化し，それに伴い溶接・接合工法も変化・進歩し，さらに溶接個所の低減といったメリットも得られている．

現在は材料，工法いずれも一段落した感がある．しかし，今後，省エネルギー化・高効率化が一段と声を増す中，更なる軽量化を推進するためにマグネシウム合金の適用検討も始まっているようである[18]．現在用いられているアルミニウム合金が全て置き換わるとは考えられず，今後アルミニウム合金とマグネシウム合金との異種金属接合技術の開発が必要となるかもしれない．

なお，冒頭でも記載したが，わが国のアルミニウム合金の本格的な旅客車両への採用は1962年の山陽電鉄の2000系車両から始まっており，本年2012年で50周年を迎えたことになる．1898年に，わが国初の民間工場でアルミ板の製造が開始されてから114年経つが，アルミ業界はその歴史の半分近くを鉄道車両と共に歩んできたと言える．

我々素材メーカはアルミニウム合金採用100周年に向けて今後も高リサイクル性，軽量，高強度，高成形性を有するアルミニウム合金の更なる開発を続け，新しい車両構体への適用を提案できるように志を高く持ちたい．

最後に参考にさせていただいた各文献の原著者の皆様に厚く御礼を申し上げます．

参考文献

1) アルミニウム技術便覧，カロス出版，(1996)，1098.
2) アルミニウムの製品と製造技術，(一社) 軽金属学会，(2001)，206.
3) 平成23年度アルミニウム合金製車両生産実績，(一社) 日本アルミニウム協会　アルミニウム車両委員会資料 (2012. 6)．
4) 主にアルミニウムハンドブック (第7版)，(一社) 日本アルミニウム協会，(2007)．
5) 石塚寿彦，軽金属　Vol.41 No.5 (1991)，353-361.
6) 寺本富彦，軽金属溶接　Vol.36 No.1 (1998)，33-40.
7) 宮崎勇，軽金属溶接　Vol.43 No.1 (2005)，2-8.
8) 生島勝之，軽金属　Vol.55 No.6 (2005)，296-300.
9) 酒井康士，軽金属　Vol.56 No.11 (2006)，584-587.
10) 守本，アルミ合金製車両の材料使用区分，軽金属車両委員会報告書 No.2，11-17.
11) 軽金属車両委員会，軽金属車両委員会報告書 No.2，(社) 日本鉄道車輌工業，(一社) 軽金属協会，(1974)，17.
12) 軽金属車両委員会，アルミニウム新幹線車両，(社) 日本鉄道車輌工業，(一社) 軽金属協会，(1982)，7.
13) 船津浩二，RRR，Vol.65 No.4 (2008)，34-35.
14) 米谷弘，レーザ・MIG ハイブリット溶接のアルミニウム車両への適用，近畿車輌技報，第13号，No.10 (2006)，33-35.
15) 留岡正男，アルミニウム合金車両のリサイクルについて，シンポジウム　アルミニウム合金製鉄道車両，(一社) 軽金属溶接協会，(2004)，49-58.
16) 秋田，蓑田，耐食アルミニウム合金加工硬化材の軟化部をもつ溶接継手の強度に関する研究，造船協会論文集，第118号，(1965)．
17) 竹内，船舶・海洋とアルミニウムに関するシンポジウム，(一社) 軽金属溶接協会，(1990)．
18) 鈴木，田村，溶接金属学，溶接全書1，産報出版，(1978)．
19) 森久史，辻村太郎，石塚弘道，藤野謙司，橋本克史，向井智一，吉村慎一郎，河田真，マグネシウム合金を鉄道車両構造部材に適用する，RRR，Vol.68 No.11 (2011)，2-5.