国際会議便り

第6回 Al-Li 合金国際会議に出席して

里 達雄*

Sixth International Aluminium-Lithium Conference

Tatsuo SATO*

昨年(1991年)の秋, 10月7日から11日までの5日間に渡り, 標記国際会議がドイツの Garmisch-Partenkirchen において開催された。ヨーロッパでの開催は第3回の英国, 第4回の仏国に次ぐ3回目ということになる。Al-Li 合金の研究開発の展開の中で, すでに実用化をにらんだ合金が規格合金として登録され, 応用評価の段階に至っている状況の中での今回の国際会議であった。筆者は, この会議に出席し, 論文発表の機会を得たので, 会議の概要等について筆者なりにまとめた。

1. 国際会議会場

会議場は, Garmisch-Partenkirchen の街の中心地リヒアルト・シュトラウス通りにある“Congress Center”であった。Garmisch-Partenkirchen は二つの町からなる, ドイツ・アルペン地方の代表的観光地として知られ, 1936年には冬期オリンピックが開催されている。ミュンヘンから南に約90 km の位置にあり, 街はアルプスの山々に囲まれ, 家々はアルペン地方独特の木造建築で, 大きなバルコニーには花々が見事に咲き誇っていた。近くには, ドイツの最高峰 Zugspitze (標高2966 m) がそびえ, また, リンダーホーフ城, ノイシュバンシュタイン城があり, 観光客を集めている。音楽家リヒアルト・シュトラウスは Garmisch に住み, 楽想を練ったといわれる。

2. 会議の概要

講演は3会場で行われた。主催者側の開会の挨拶の後, アルキャン(英), アルコア(米), レイノルズ(米), アリシウム(日本)およびソ連科学アカデミー(ソ連)から Al-Li 合金の研究開発の経緯について基調講演があ

った。日本およびソ連(当時)は今回初めて現況報告する機会を得た。続いて, 各セッションに分かれ, 講演(講演時間15分, 質問時間5分)がスタートした。講演はキーノート講演, 口頭発表およびポスター発表に分類されていた。表1に国別発表論文数をファーストオーサーの所属国で分類して示す。第5回会議と比較すると, ドイツ, 日本の論文数が増し, 米国, フランスが減っている。英国は, ほぼ同数であった。地元ドイツが増えることは, 当然として, 隣国のフランスからの論文数が減っているのは奇異に感じられた。ソ連および中国からの論文登録数は多かったが, キャンセル論文も少なくなく実数は把握できていない。わが国からの研究発表は, 民間3件, 大学11件の合計14件であった。また, セッション別の論文数を表2に示した。表2を見ると Microstructure や Mechanical Properties など基礎分野は依然として多いことがわかるが, Corrosion や Fatigue など, 応用上特に問題となる分野の発表数が多いことも注目された。表3に, 第1回から第6回国際会議の参加者数を示す。今回は, 参加者数はやや減っているものの, 表1に見たように論文発表数は増えている。また, 参加国数(表4)も今回は多くなっている。参加者数が今回減少したのは主に米国からの参加者数がこれまでに比べ少なかったことによる。

3. 発表論文の内容

(1) 組織および機械的性質

Al-Li 系合金の組織について, T. H. Sanders (米国) はキーノート講演を行い, 相分解現象, 添加元素の効果および脱 Li 層の問題について概説した。相分解については, GP ゾーンあるいはスピノーダル分解の可能性を

* 東京工業大学工学部(東京都)。Faculty of Engineering, Tokyo Institute of Technology (Meguro-ku, Tokyo).
受理日: 平成4年2月25日

表1 国別発表論文数（ファーストオーサーの所属国で分類。ただし、アブストラクト集に登録されている論文による）

U.S.A.	45	Italy	4	Czechoslovakia	2
U.S.S.R.	39	Netherlands	4	India	1
F.R.G.	38	Sweden	4	Australia	1
U.K.	33	Brazil	3	Ireland	1
China	33	Spain	3	Israel	1
Japan	14	Taiwan	3	Others	2
France	11	Yugoslavia	3		
Korea	5	Belgium	2	Total	252

表2 セッション別論文数（プログラムによる）

	Oral	Poster	Total
Plenary paper	5	—	5
Processing	10	13	23
Microstructure	13	18	31
Microstructure/ Mechanical Properties	30	29	59
SPF/DB (Super Plastic Formation/ Diffusion Bonding)	12	8	20
Melting/Casting	5	5	10
Powder Metallurgy	5	—	5
Corrosion	17	16	33
Fatigue	17	13	30
Welding	8	7	15
Applications/ New Development	21	—	21
Total	143	109	252

十分考慮する必要のあることを強調していた。また、H. Chen（米国）は相分解を基礎的立場で検討し、組成の二相分離がおこる前に規則化がまずおこることをX線小角および広角散乱強度測定を同時に行い、明らかにした。この結果は、Khachaturyanの理論的予測を実験的に直接確認したものとして意義があった。また、P. Gomiero（仏国）はX線異常散乱法を用い、2091合金にGPBゾーンが存在することを実証した。

破壊挙動については、E. A. Starke（米国）のグループからこれまでの研究のレビューが行われた。低じん性はNa, K, Ca, H, Sなどが粒界に偏析することと関連があるとし、Naを0.002%以下に抑え、FeおよびSi化合物粒子を大きさ1~10 μ mにすることがじん性向上につながると報告した。さらに、PFZを消滅させる（低温時効やストレッチの活用）、集合組織を制御することなどがじん性向上に有効であることを示した。また、8090

表3 第1回～第6回のAl-Li国際会議出席者数

第1回	1980	Stone Mountain, Georgia, U.S.A.	90名
第2回	1983	Monterey, California, U.S.A.	118名
第3回	1985	Oxford, U.K.	267名
第4回	1987	Paris, France	282名
第5回	1989	Williamsburg, Virginia, U.S.A.	289名
第6回	1991	Garmisch-Partenkirchen, F.R.G.	254名

表4 国別参加（登録）者数

F.R.G.	71	Sweden	6	Switzerland	2
U.K.	42	Australia	5	Indonesia	2
U.S.A.	39	Italy	5	Israel	2
Japan	19	Korea	4	Austria	1
France	17	Spain	4	Brazil	1
U.S.S.R.	10	Belgium	3	Taiwan	1
Czechoslovakia	7	China	3	Other	1
Netherlands	6	Ireland	3	計	254名

合金について、一度時効処理してから170~210°C程度でごく短時間過熱処理すると強度はわずかに減少するものの破壊じん性は明確に向上し、この手法がじん性向上に有効であるとする興味ある結果が報告された。また、8090合金板のS-T方向の破壊じん性や耐SCC性の改善には熱間圧延前の加工熱処理（予備鍛造と溶体化処理）が有効であるとの報告もあった。

(2) 微量添加元素の効果

微量添加元素の効果としては、ソ連のグループを中心としてScの効果は報告された。ScはZrと同様にL1₂型規則構造粒子を析出させ、再結晶を抑制する。ソ連の1421合金は1420合金（Al-5%Mg-2%Li-0.1%Zr）にScを~0.2%添加して、機械的特性の改善が計られている。ただし、Scはコストの面からは有利とはいえない。ソ連の合金に関しては、これまで諸特性の情報が少なかったが、今回、アルコアから興味ある報告があった。アルコアは米国とソ連の研究交換として1420および1421合金の提供を受け、引張特性、破壊じん性、組織解析、耐食性、溶接性および超塑性などの総合的観点から評価試験を行い、2090合金と比較した結果を報告した。これによれば、1420および1421合金は軽量の特徴とし、2090合金に匹敵する特性をもっており、欧米の航空機用材料として、十分に使用しうる材料であるとの結論を得ている。また、Weldaliteに対するZn添加の効果はJ. R. Pickens（米国）によって報告された。それによれば、X2094合金にZnを0.5%程度添加した合金では時効硬化が促進され、強度が増大していた。析出組織としては

T₁相が微細分布していた。しかしながら、Znの具体的役割については明らかでないようである。このZn添加合金はWeldalite™210の名称で呼ばれ、Weldalite™049との比較で注目された。

(3) 耐食性

腐食のセッションでは、腐食挙動の電気化学的解析、析出組織や結晶粒形態と応力腐食の関係など基本的な研究の他に腐食疲労や、SIMSを用いた水素脆性の研究結果の報告があった。さらに、Znを微量添加すると耐SCC性が顕著に改善されるとする研究報告が2件あり、活発な議論が行われた。8090合金の場合、Zn添加により δ' 相中にZnが含まれ、PFZが変化する可能性が指摘された。また、Zn添加によりS-T方向の耐SCC性が向上し、引張強さも増大するが、破壊じん性は必ずしも向上しないとする報告もあった。詳細については今後の研究が必要との印象を受けた。

(4) 研究発表に取り上げられた合金

代表的Al-Li合金のうち、どの合金が興味をもたれて研究発表に取り上げられたのかを見るため抄録集をもとに整理した(表5)。表5に見るように、8090合金を対象とした報告が最も多く、2090合金がそれに次いでいる。国別にみると2090合金は米国が中心であるのに対し、8090合金は英国を中心に報告されている。また、Weldaliteは米国に限られ、1420シリーズの合金はソ連からの報告が大部分である。これらは、当然のことながら、それぞれの国の合金開発の経緯と関連している。Weldaliteに関しては、Martin Marietta社の研究グループが中心になって比較的多くの論文発表が行われた。内容としては、冷間および熱間での成形・加工条件および製造技術の検討、溶接性の評価、また、室温および極低温での機械的性質、特に、破壊じん性などが検討されていた。さらに、諸特性の最適な組合せを実現するための合金組成についての研究報告があった。WeldaliteはX2094, X2095として新しく登録されている。

ここで、新合金または開発中の合金について筆者が気をついた範囲で付記する。レイノルズ社(米国)から、MD345合金(7075-T6, 7050-T76の代替合金)、RX218合金(Al-Cu-Li-Mn-Zr: Mgを含まず、Mnを含む; 2124-T851と競合)およびRX818合金(2618, 2519の代替合金、超音速機用)が紹介された。また、Comalco Aluminum Ltd(オーストラリア)は6061合金と競合するXT140合金について紹介した。一方、ソ連は、1420, 1421合金の他に、1430, 1440, 1441, 1450および1460合金など数種類について特性などを報告した。これらは、1420合金を基本とし、Mg, Cu添加およびSc, Be, Yなどを微量添加した合金であった。

表5 研究発表に取り上げられた主な合金および国別件数

	2090	2091	8090	8091	Weldalite	1420/ 1421	Total
U.S.A.	13	3	11	—	16	1	44
U.K.	—	1	25	—	—	—	26
F.R.G.	2	5	13	1	—	2	23
France	—	6	2	—	—	—	8
U.S.S.R.	—	—	—	—	—	16	16
China	5	2	10	—	—	—	17
Japan	3	1	2	—	—	—	6
Netherlands	2	1	2	1	—	—	6
Sweden	2	—	3	—	—	—	5
Others	2	3	10	1	—	—	16
Total	29	22	78	3	16	19	167

(5) 応用および材料評価

Al-Li系合金は軽量・高強度であること、低温特性に優れることなどから航空機用、宇宙ロケット用、液体燃料タンク用材料としての用途が中心である。Al-Li合金をこれらの用途に実用した例あるいは具体的評価テストを実施している例について今回報告されたものを表6に示す。米国においては、軍用機、宇宙ロケット関連を中心に多種類の部品に適用されている。実際に、スペースシャトル用の実物大燃料タンクが製造され、写真紹介された。一方、ヨーロッパにおいては、エアバスA330/A340用材料として適用するための実物大の構造物を製造し、疲労試験や各種の試験(Barrel Test)が進行しているとの報告があった。このBarrel Testの結果は今後Al-Li合金を民間機に適用する上で大きな影響をもつと考えられ、注目される。また、Westland Helicopter社は、8090合金を用い、Agusta EH101ヘリコプターを実際に製造していることを報告し、良好な結果を得ていると評価した。また、宇宙関連用構造物の場合、材料の軽量化はペイロードの増加が可能となることおよび打ち上げ費用が低減されることへの効果がきわめて大きく、Al-Li合金の特性が最大限に発揮される分野である。

4. 今後の展開

過去5回の国際会議を通じて、Al-Li合金の材料としての開発・評価は相当集約され、一定の目標に到達した感がある。繊維系複合材料に対する競合材料として期待されているAl-Li系合金は軽量・高強度合金として優れた特性を有し、また、低温用構造材料としても優れている。今回の国際会議では、この他にも各種の材料特性の評価、新しい合金の報告があった。また、材料メーカ

表 6 会議で報告された Al-Li 系合金の主な応用例

Applications	Alloys	Industries/Laboratories
<u>Commercial Applications</u>		
Airbus A330/A340 Leading Edges	2090-T84	British Aerospace
Airbus A340 Barrel Test	2091	Deutsche Airbus GmbH
	8090	Aérospatiale
Lower Wing Skin	8090	Alcoa
Fuselage, Door	2091-T84,8090-T81	Alcoa
Upper Wing Structure	2090	Fokker Aircraft
Transport Aircraft	1450	All-Union Institute Antonov Design Bureau
<u>Military Applications</u>		
C-17 Floor Section	2090-T83,2090-T86	McDonnell Douglas
Navy Aircraft	2090, 8090	Navel Air Development Center
European Fighter	8090	British Aerospace
Westland Agusta EH101 Helicopter	8090	Westland Helicopter
<u>Space Applications</u>		
Launch Vehicle Tankage	Weldalite™049	Martin Marietta
Atlas Commercial Launch Vehicle	2090	General Dynamics
Space Launch Vehicle (Delta Cryogenic Tank)	2090-T81	McDonnell Douglas
Cryotankage, Payload, Adapters	2090	Alcoa, Lockheed
	8090	McDonnell Douglas

一、航空機、宇宙ロケットメーカーの実際の取り組みや展望がそれぞれ紹介された。多くの技術がそうであるように、新しい技術を開発し、応用するには長い時間と多額の費用を必要とする。今回の会議でも、今後、航空機用材料として Al-Li 合金が代替される上でコストが最大の問題であるとの認識が示された。用途拡大には、さらに、製造技術や信頼性の高い材料の開発が一層重要となる。閉会の挨拶で会議全体の講評が行われ、また、日本およびソ連から初めての基調報告が行われたことの意義が述べられた。また、次回の Al-Li 国際会議について国際委員会での討議の結果、次回は Al-Li 単独の国際会議としてではなく、アルミニウム合金あるいは航空宇宙工

学関係の会議の中の一つのセッションとして Al-Li 合金を企画することが報告された。

会議 2 日目の夜、街にあるバイエルンホールで民族舞踊・音楽の催し物があった。バイエルン地方の民族衣装をつけた若い男女のリズミカルな踊りが次々に披露され、参加者を楽しませた。途中、国際委員会のメンバーで、Al-Li 国際会議の中心的存在である米国の E. A. Starke が挨拶に立ち、席上、即興で楽団の指揮をとった。ユーモアにあふれた指揮で、会場の盛んな拍手を浴びたのが印象的であった。

最後に、会議出席のためご支援いただいた東工大神尾彰彦教授ならびに(勲)軽金属奨学会に謝意を表します。