

溶接技術

12

2022 Vol.70

特集●産業界のニーズに応える自動化技術

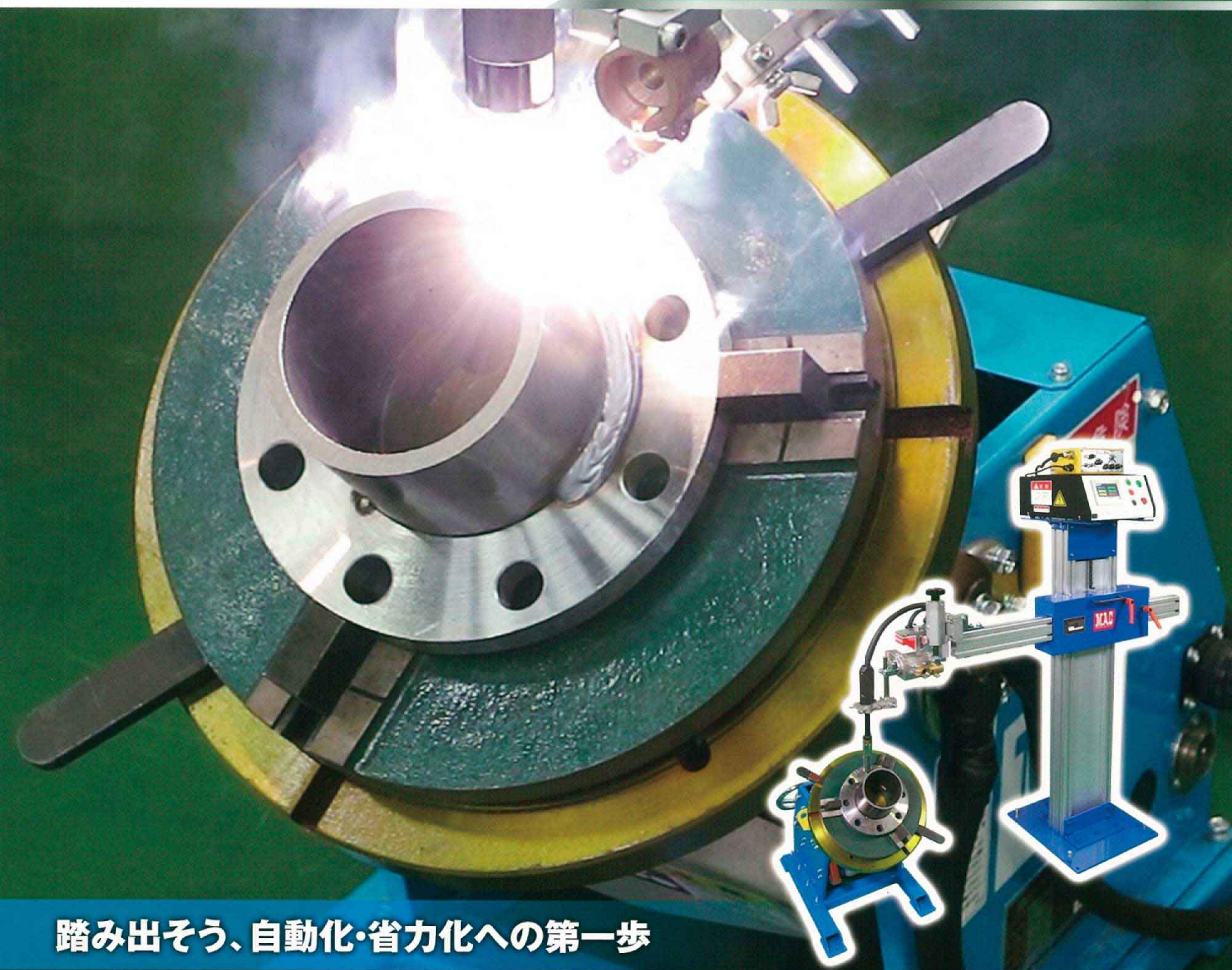
協働ロボットにおける最新技術動向と溶接用途への適用／熟練工の技を実現するアーク溶接自動化技術の開発～溶接現場での新たな自動化ソリューションを目指して～／プラント検査におけるドローンの活用について

シリーズ●主要業種の溶接関連トピックスー電子機器編ー

焦点●溶接界の先進技術・機材紹介

クローズアップ●国際溶接学会（IIW）2022年次大会・国際会議開催レポート

WELDING 70th TECHNOLOGY



踏み出そう、自動化・省力化への第一歩

簡易自動溶接装置

トータルマック



マツモト機械株式会社

—電子機器編—

高信頼性 Sn-Bi系低融点 鉛フリーはんだ合金について

西村 哲郎

(株)日本スペリア社

1 はじめに

ノードが異なる複数のチップや3次元的な積層素子である巨大なメモリーなどを一つの基板に乗せる技術が登場したことにより、集積回路上のトランジスタ数は「2年ごとに倍になる」というムーアの法則を超える高性能なデバイスが生まれた。そのような多層・大型化するCPUなどの電子部品は、1,000ピンを超えるような多数のI/O端子をもつ。プリント基板へ直接実装する場合、SAC系の鉛フリーはんだでは、実装温度が高過ぎるため、デバイスやプリント基板に複雑な反りが発生して信頼性のある接合に支障をきたすことが近年課題となっている。また、汎用性の高い光学系部品やLEDなど、部品が要求する耐熱限界も懸念される。そのため、このような部品に関して実装現場ではコネクタを介した実装や部品の搭載順番を変えて後付けにする等の工夫をされ

ているが、一方で組立て時の実装温度を200℃以下に低く抑えることで実装課題がさらに改善できることも期待されている。その上、近年大きな課題となっている脱炭素への取組みに対しても、実装温度の低温化は、使用電力などのエネルギー削減に大きく寄与できるばかりでなく、生産装置の長寿命化や製品そのものの信頼性向上にも一役買っている。

表1は、JIS規格¹⁾に登録されているSnの融点232℃よりも低い固相温度をもつ鉛フリーはんだを抜粋したものである。SAC系合金にBiやInを添加して低融点化した合金やSn-Zn系（融点198℃）があるが、Sn-Pbの共晶はんだの融点183℃よりも低い融点をもった、Sn-Bi（同139℃）、Sn-In（同117℃）といった2元系共晶はんだが以前より知られている。とくにSn-Bi系の低融点は、材料の入手性もよく、近年大きな注目を集めている。ところが、その合金によるはんだ接合部は一般的

表1 錫の融点（232℃）よりも低いJIS規格¹⁾の鉛フリーはんだ 抜粋

合金系	種類	記号	溶融温度℃		ISO 合金番号
			固相	液相	
高温系	Sn-Cu	Sn97Cu3	227	309	402
	Sn-Cu-Ni	Sn99.25Cu0.7Ni0.05	227	227	403
	Sn-Ag	Sn95Ag5	221	240	704
	Sn-Cu-Ag	Sn99Cu0.7Ag0.3	217	226	501
中高温系	Sn-Ag	Sn96.3-97Ag3-3.7	221	221-2	701-3
		Sn98.3Ag1Cu0.7	217	224	715
	Sn-Ag-Cu	Sn96.5Ag3Cu0.5	217	219	711
		Sn95.5Ag3.5-4Cu0.5-0.7	217	219	712-4
中温系	Sn-Ag-Cu-Ni-Ge	Sn95.92Ag3.5Cu0.5NiGe	217	219	741
	Sn-Ag-Bi-Cu	Sn96Ag2.5Bi1Cu0.5	213	218	721
	Sn-Bi-Ag-Cu-In	Sn96.5Bi1.6Ag1Cu0.7In0.2	210	222	-
	Sn-Bi-Ag-Cu	Sn96.3Bi2Ag1Cu0.7	208	221	-
低中温系	Sn-In-Bi	Sn88-92In4-8Ag3.5Bi0.5	196	206	611/2
	Sn-Zn	Sn91Zn9	198	198	801
	Sn-Zn-Bi	Sn89Zn8Bi3	190	196	811
低温系	Bi-Sn	Bi58Sn42	139	139	301
	Sn-In	In52Sn48	119	119	601

に脆く、接合信頼性が高いとはいえなかった。そこで、本稿では当社R&Dセンターとオーストラリア・クイーンズランド大学内の研究機関Nihon Superior Centre for the Manufacture of Electronic Materials (NSCMEM) および、英国インペリアルカレッジ・ロンドンとの共同研究により、従来のSn-Bi系共晶付近の組成と比べて高い接合信頼性を得られるSn-Bi系低融点鉛フリーはんだを開発した経緯を紹介する。

2 Sn-Bi系はんだについて

2.1 Sn-Bi系はんだの基本特性

図1に、Sn-Bi二元合金の平衡状態図を示す。

また、写真1はSn-Biの組成を変えた合金を室温まで凝固させたときの合金試料をSEMで観察した凝固組織の断面画像である³⁾。まず、平衡状態図によると、Sn42wt%Bi58wt%付近の組成は、融点が139℃の共晶温度となる。Biはわずかな量しかSnを固溶しないが、SnはBiを共晶温度付近で最大約21wt%を固溶する。しか

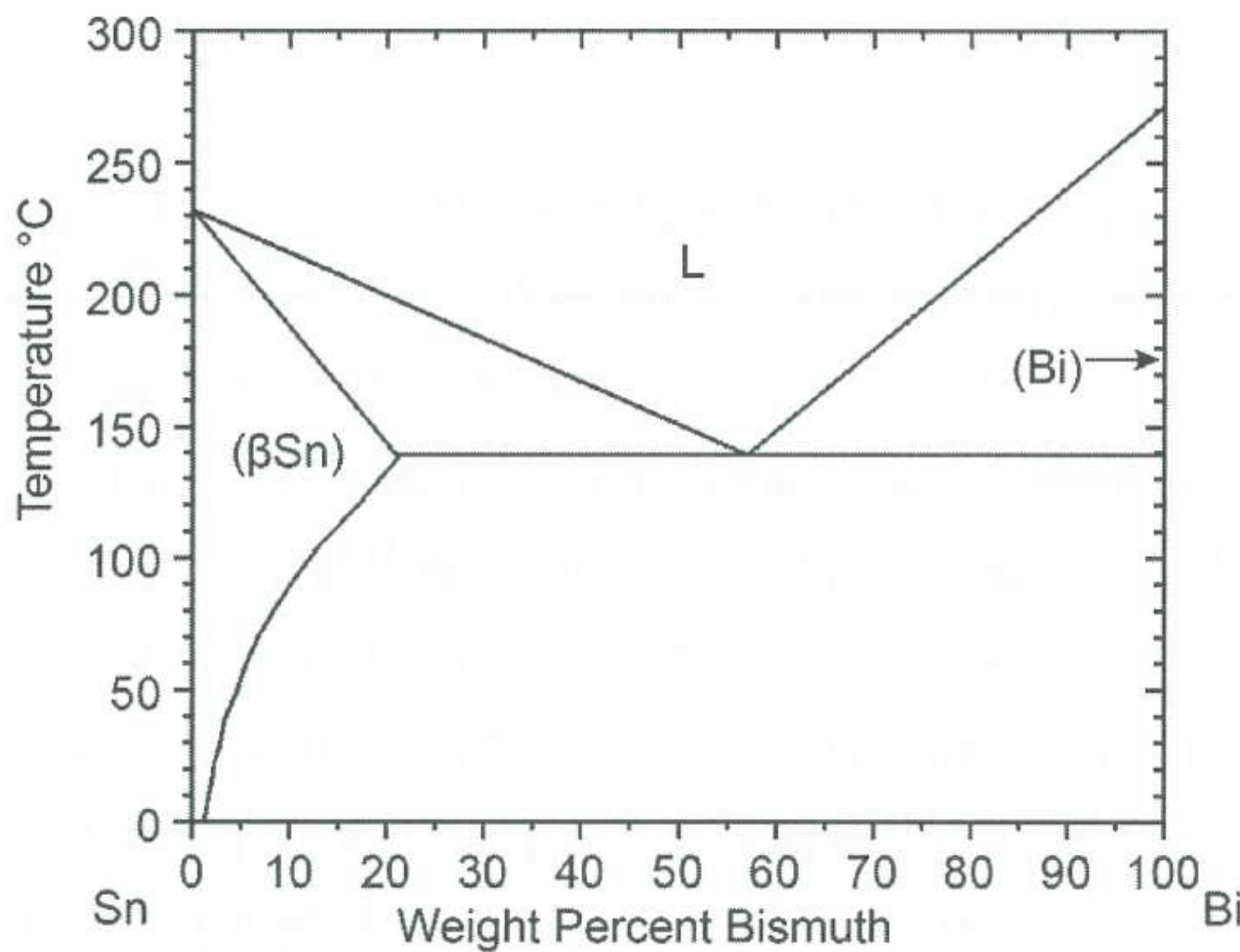
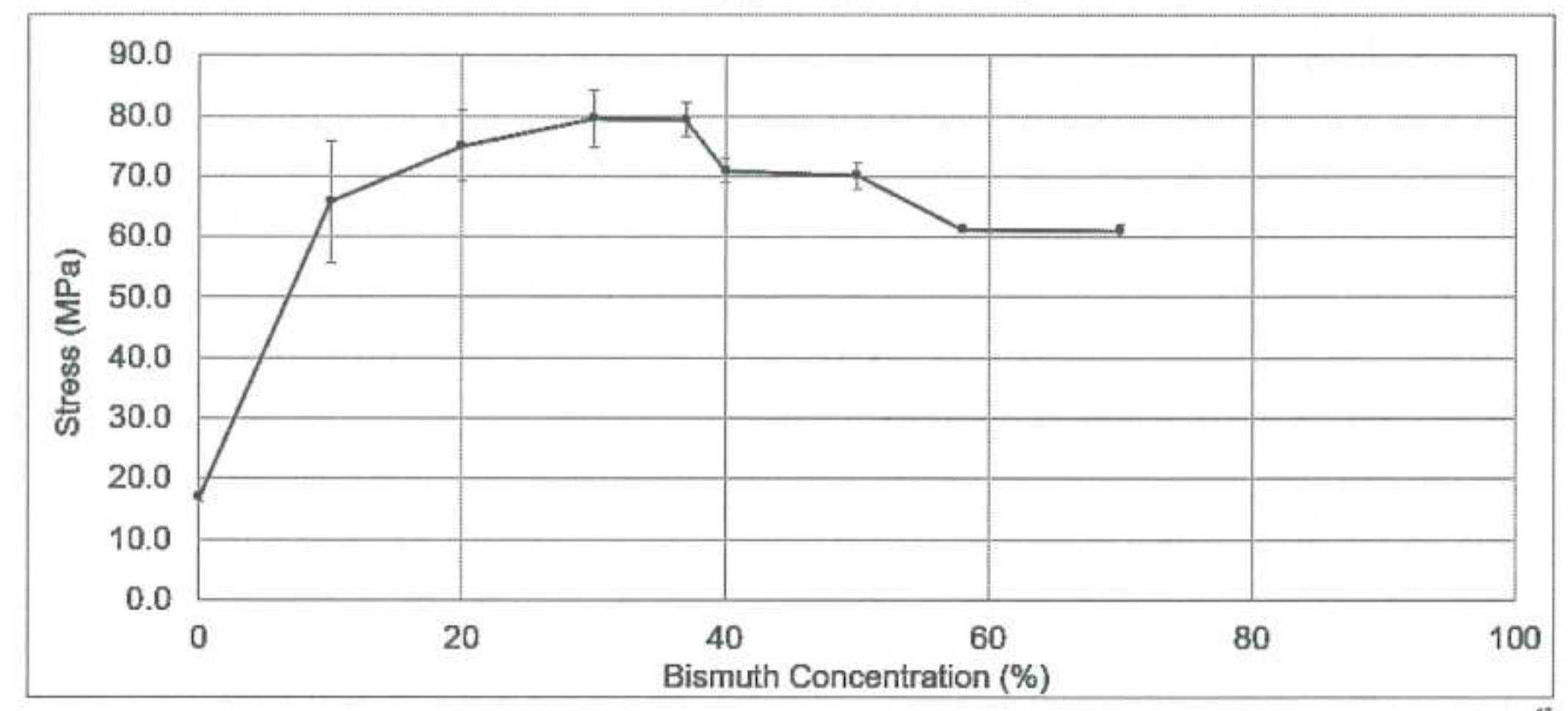


図1 Sn-Bi平衡状態図²⁾

し、そこから温度の低下とともに固溶できるBi量が大きく減少していく。室温では、固溶できるBi量はSnに対してわずか2~3wt%になることが予想される。したがって、Sn-Bi合金は、一般的にエージング（時効）によってSn中へ微細に固溶していたBiが析出し、それによってもって機械的特性の変化も大きく現れてくる。すなわち、BiによるSnの固溶硬化が低下し、析出したBiの性質が大きく現れて機械的特性に影響を与えることとなる。Biは、AsやSbと同じく三方晶系、いわゆる菱面体の構造をもち、硬く脆いとされている。したがって、Biが接合部に大量に析出した場合、そこが衝撃などで外れるような、信頼性に乏しい構造になる可能性がある。

次に、各種Sn-Bi合金を室温において毎秒0.08%のひずみ速度で引張試験を行った場合の最大引張強度と伸び

Ultimate Tensile Strength (UTS)



Elongation

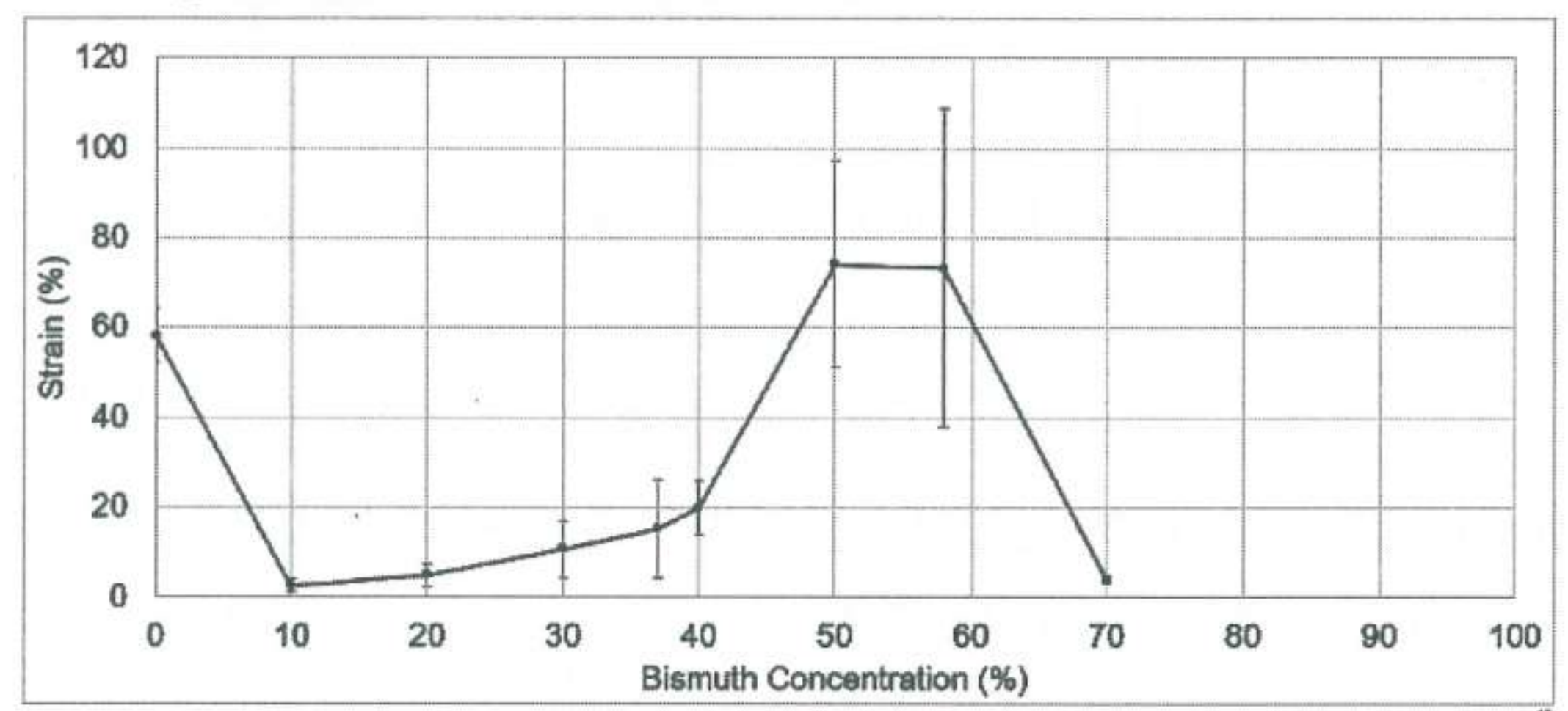


図2 Sn-Bi合金の引張強度（上図）と伸び（下図）に及ぼすBi含有量の影響³⁾

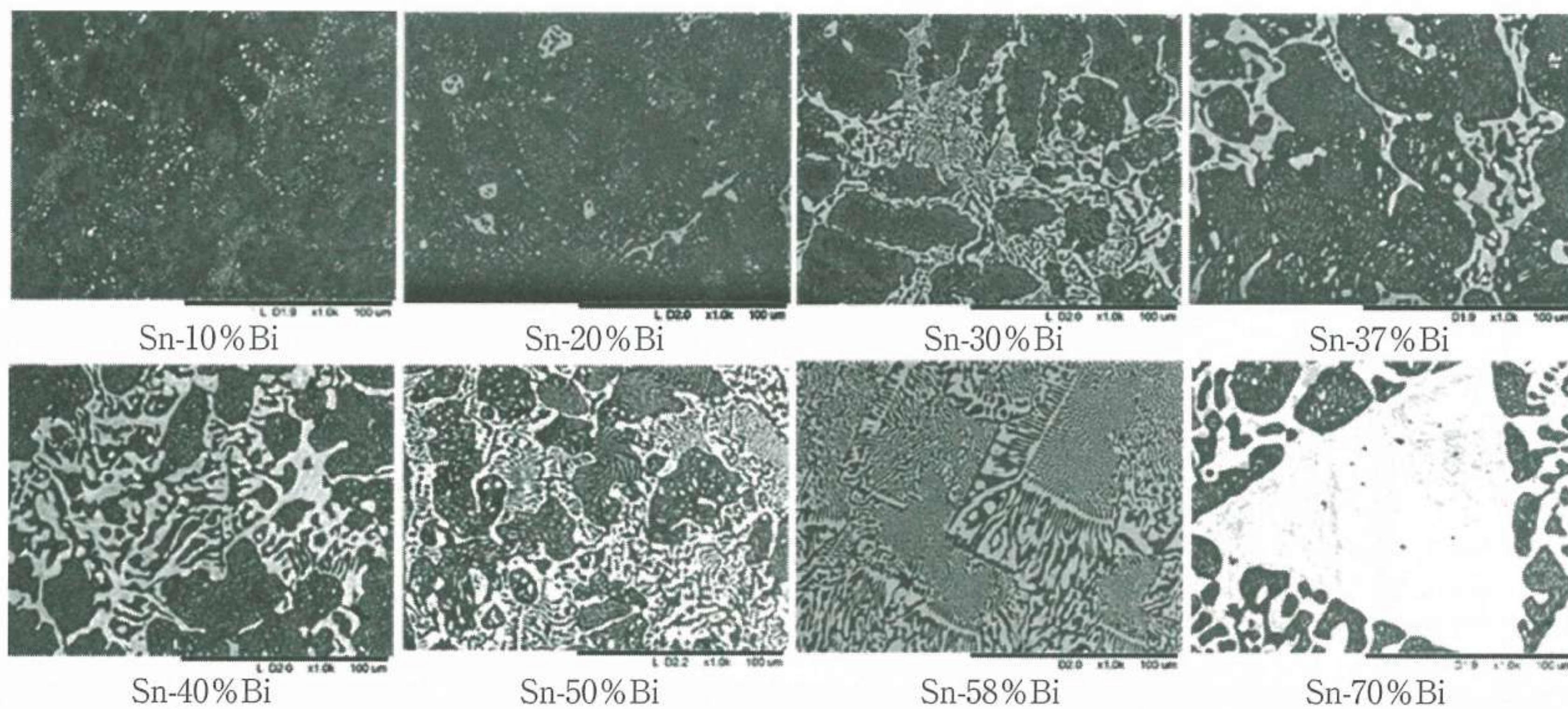


写真1 Sn-Bi系の凝固組織断面写真 (SEM)³⁾ (写真中の灰色はSn相、白色はBi相に対応)

関係について図2に示す³⁾。共晶組成付近で伸びが最大となることがわかる。

一方、最大引張強度が高くなるのはBi含有量が30wt%後である。

図3は、各種試験温度で実施された引張試験で破断伸びのひずみ速度依存性との関係を示した⁴⁾。室温付近で引張速度、すなわち、ひずみ速度を大きくすると伸びが大きく下がってくるため、速度依存性が大きい。それ60℃の温度環境下では、低下傾向が大きく改善する。したがって、SnBi共晶はんだは接合部にかかるひずみ速度と温度によって大きく性質を変えるとわかる。

2 高信頼性Sn-Bi合金の開発

まず、Biの含有量の決定について説明する。前述の2の結果にあるように、Bi含有量30wt%前後が最も引張強度が高い。ところが、低温はんだを前提とするのであれば、液相線温度がSn-Pbの共晶温度である183℃を超えたくないと考え、Bi含有量は35wt%以上が望ましいとした。一方、耐衝撃性を重視していくのであれば、Biは検討の結果38wt%以下が適当であることを認めている。また、Biと全率固溶関係にあるSbの添加がBiの微細析出を目的として有効であること⁵⁾を、オーストラリア・シンクロトロンによるX線回析試験⁶⁾により確認した。

さらに、接合時の母材がCuである場合が一般的であ

り、Cu母材とSnの金属間化合物(IMC)の成長を抑制する元素を添加して高信頼性のSn-Bi系低融点はんだ合金、B37を完成させた。

その合金の特性をSn-Bi共晶合金のB58と並べて表2に示した。

2.3 B37の信頼性検討

各種合金組成で作製した直径500μmのはんだボールを図4に示す基板のCu(OSP)ランドに接合し、はんだ付直後と80℃で100時間エージング(時効)した場合のボールシェア試験の結果を図5に示す。

B37は、エージング後においてもSAC305およびB58

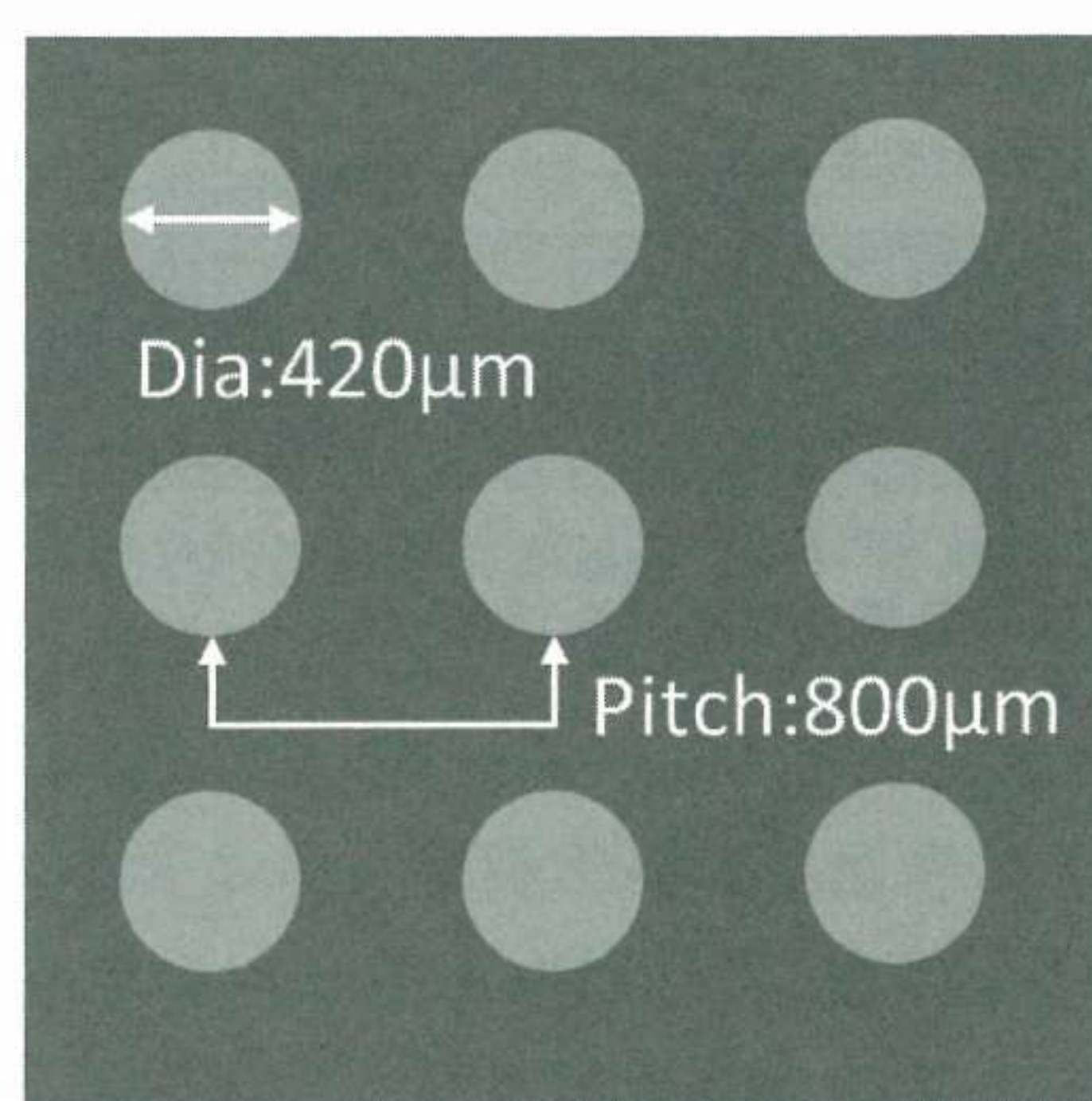


図4 ボールシェア試験の試験基板

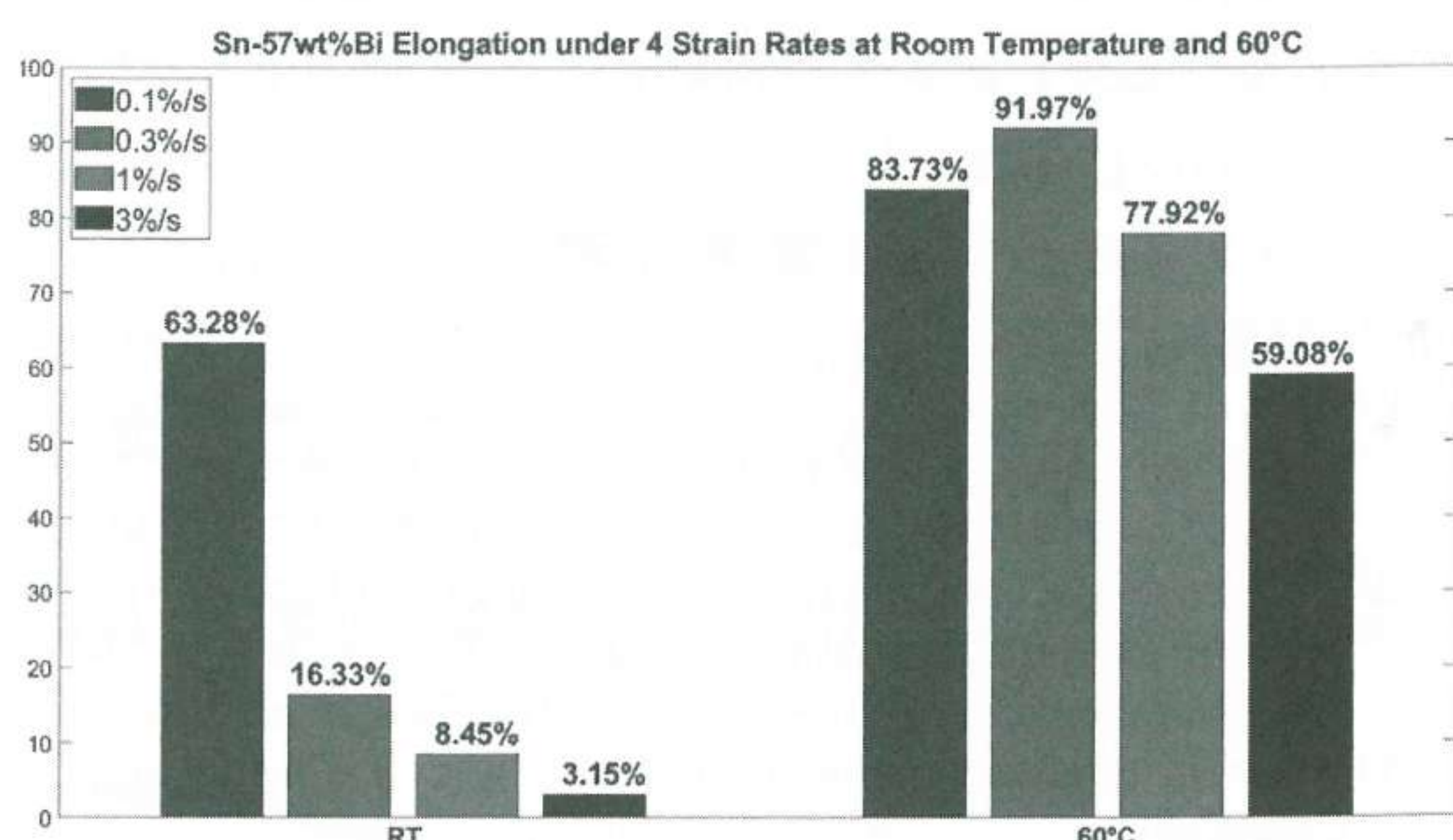


図3 引張強度試験 ひずみ速度と試験温度の影響⁴⁾

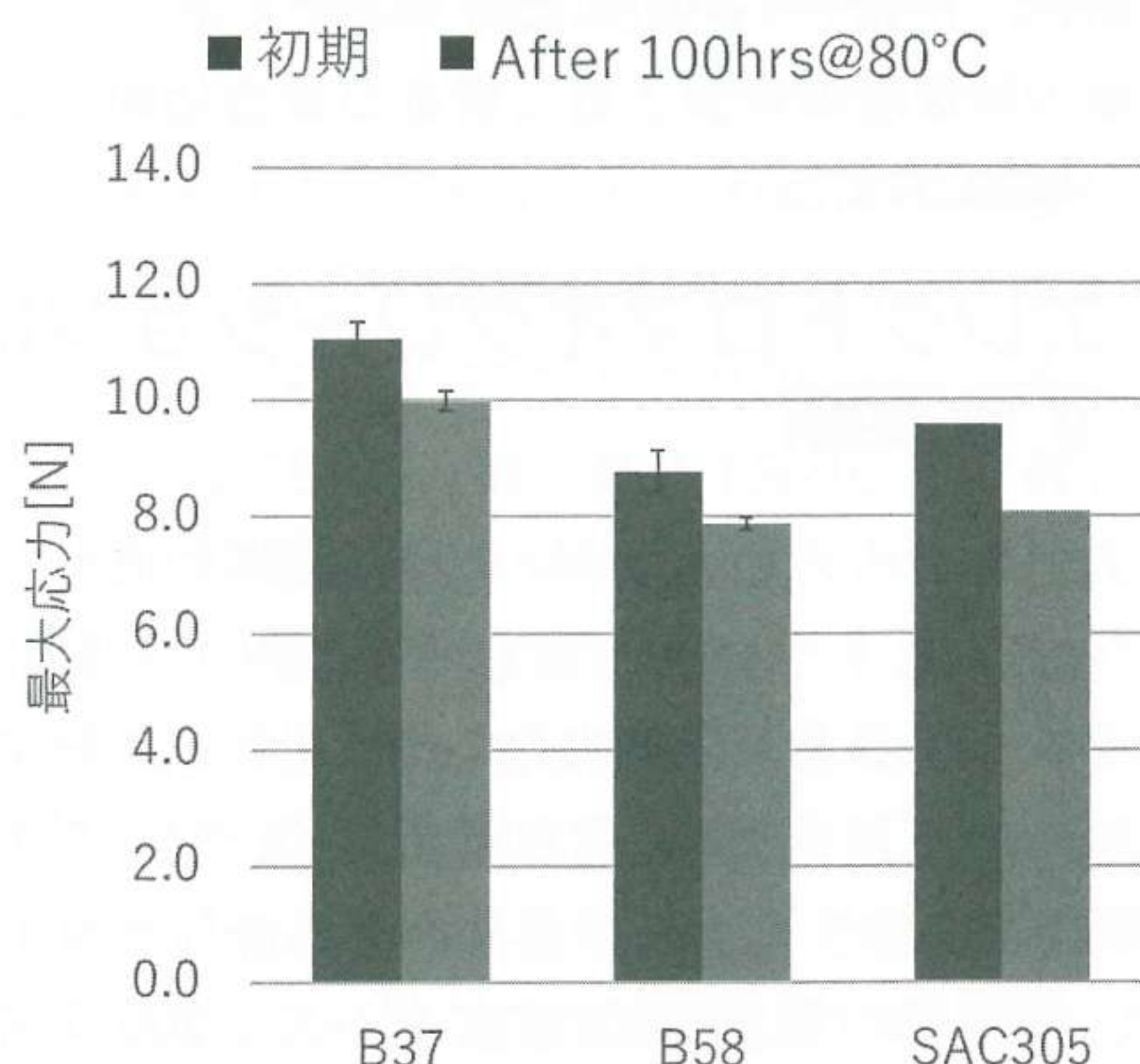
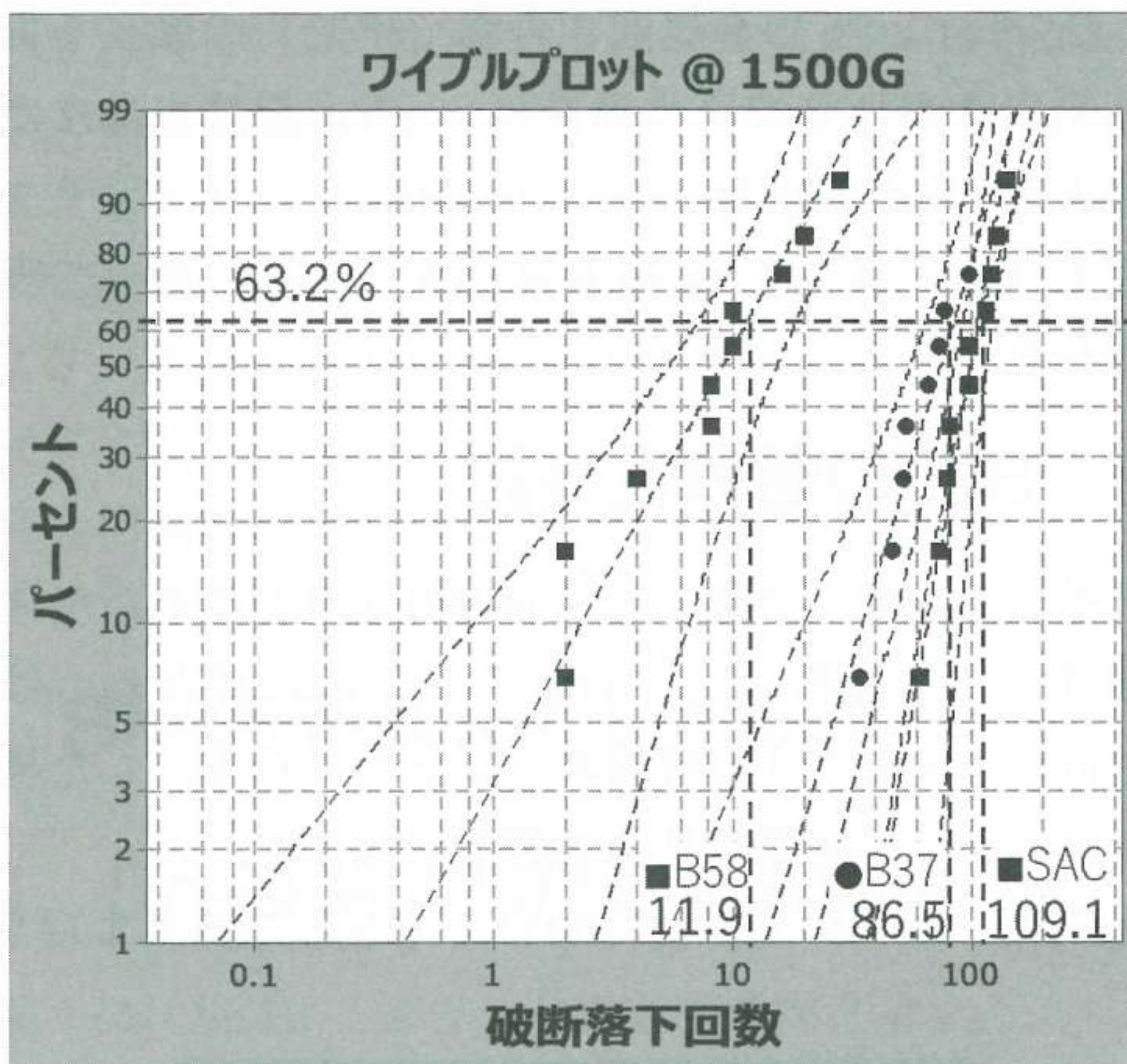


図5 ボールシェア試験の試験結果 (シェア速度10mm/sec)

表2 B58およびB37の各種特性

品番	B58	B37*	試験方法
組成	Sn58Bi	Sn37Bi + a	規格値 (*特許製品)
固相温度 (°C)	139(共晶)	139	DSC 測定: 昇温速度 2°C/min 測定範囲 30-300°C
液相温度 (°C)		174	
比重	8.7	8.1	アルキメデス法より算出
引張強度 (MPa)	74	99	引張速度: 10mm/min 測定温度: 25°C
伸び (%)	36	20	
0.2%耐力 (MPa)	63	81	



はんだ合金	特性寿命 ※ Weibull, 63.2%
B58	11.9
B37	86.5
SAC305	109.1

図6 SACのBGAボールと各はんだ組成のハイブリット接合の落下衝撃試験結果（ワイブルプロット）

を超えるボールシェア強度を有することを示している。
また、図6にSAC305のBGAボールを載せた部品をそれぞれのはんだ合金組成で接合した試験基板を使って落下衝撃試験を行った結果を示す。

その結果、本条件においてB37はB58と比較して落下衝撃試験の特性寿命が約7倍と優れた接合信頼性を有することが確認された。

2.4 エレクトロマイグレーションに対する実験

エレクトロマイグレーションとは、電流の流れ、すなわちカソード側（-）からアノード側（+）に移動する電子風によって原子が移動することである。試験は、直径が420μmのCu（OSP）ランド基板で、はんだボール間に直流8.8アンペア（6400アンペア/cm²）を通電させた場合、接合部の温度が115℃となった。200時間後の断面を写真（写真2）から、Biは電子風の影響をよく受ける傾向がみられる。B37の接合部は、他の組成と比較して、そのBi添加量が少ないためか、アノード側へのBiの濃化現象は少なく、接合部へのBi特有の変化が少ないことがわかった。

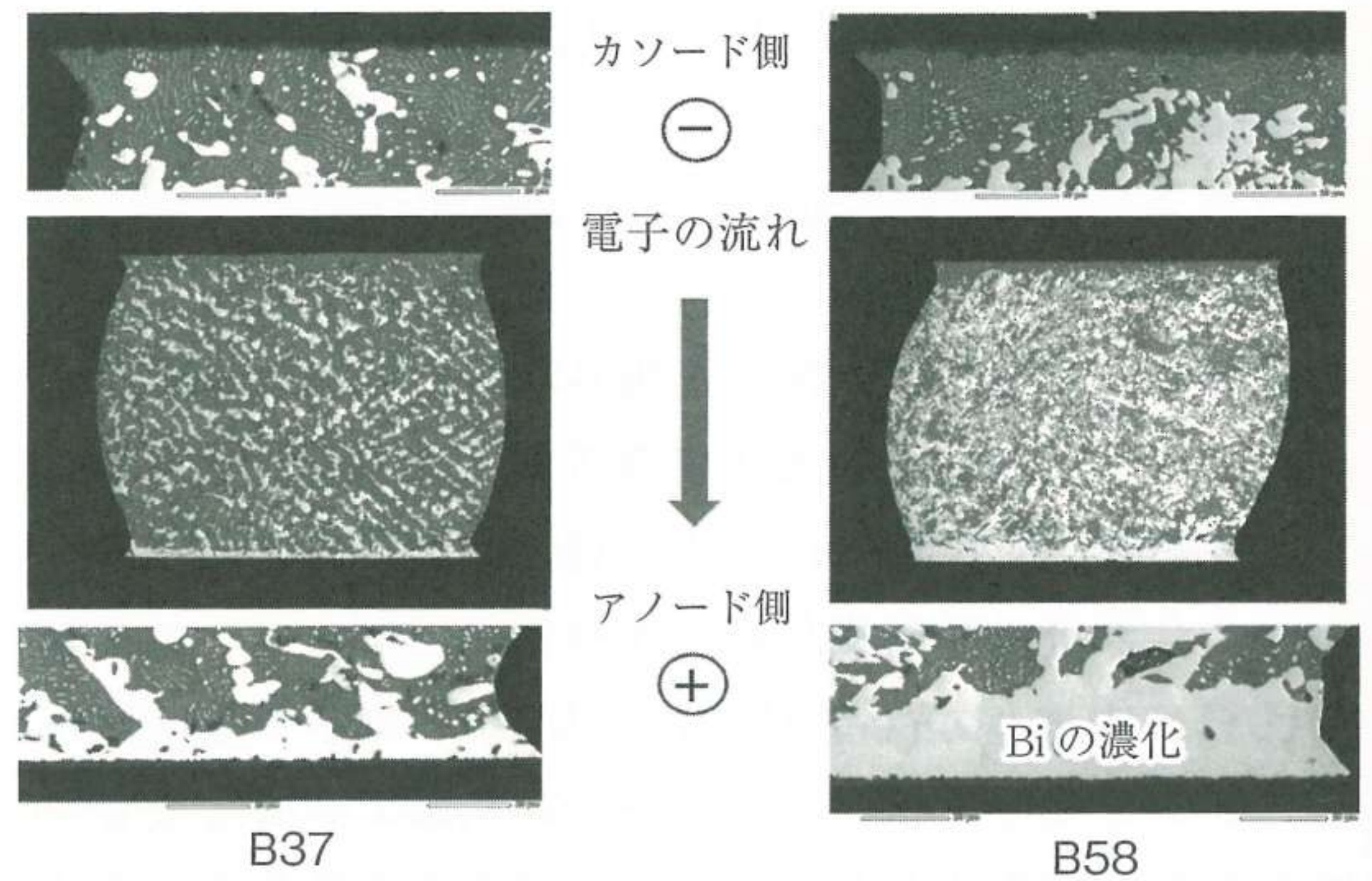


写真2 エレクトロマイグレーション試験後の断面写真（SEM）

3 おわりに

Sn-Bi系低温はんだによる実装が、広範囲で本格的に検討されてからまだ日が浅い。これからも低温度でのはんだ実装について実現性の検討が続けられていくと思うが、Bi含有量が比較的多い組成で大きな電流が流れる場所や80℃を超えるような環境温度に対する長期の信頼性にまだ検討の余地を残している。

当社は、はんだ実装の低温化実現の一助となるため、様々な現象や信頼性等について、今後も鋭意追求し報告させていただきたい。

謝 辞

この特許技術に関して、日本溶接協会から2022年の第37回溶接注目発明賞を表彰いただきました。この場をお借りして、心より感謝申し上げます。

参考文献

- 1) JIS規格Z 3282 : 2017
- 2) Lee, B.-J. et al. (1996). "Thermodynamic assessments of the Sn-In and Sn-Bi binary systems." Journal of electronic materials 25(6) : 983-991
- 3) K. Sweatman, al. (2022) "The Effect of Strain Rate on the Ductility of Bismuth-Containing Solders", Proceeding of SMTAI 2022, Minneapolis, Minnesota, USA, 31st Oct to 3rd Nov 2022.
- 4) Private communication with NSCMEM of The Queensland University.
- 5) K. Sweatman, et. al. (2020). "Behaviour and Strengthening Effects of Sb in a Low-Bi Sn-Cu Solder Alloy", Proceeding of SMTAI 2020, on-line, USA 28th to 30th Sept 2020.
- 6) Australian Synchrotron Powder Diffraction beamline proposal Numbers. AS142/PD/7943, AS161/PD/10430 and AS211/PD/16842.