

平成 2 1 年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「高強度アルミニウム合金のハイドロフォーミングの高度化技術開発」

研究開発成果等報告書

平成 2 2 年 3 月

委託者 関東経済産業局

委託先 株式会社協栄製作所

目 次

第 1 章 研究開発の概要

1-1 研究開発の目的及び目標

1-2 研究体制

(研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)

1-3 成果概要

1-4 当該研究開発の連絡窓口

第 2 章 本論

2-1 熱処理条件と成形性の研究

2-2 熱処理のインライン化の研究

2-3 新プロセスでの成形品の評価

最終章

第1章 研究開発の概要

1-1. 研究開発の目的・目標

二輪車、四輪車の電動化が急務の課題になり、車体の軽量化ニーズが高まる中、軽量高剛性な構造部材を提供する上で閉塞断面のアルミニウム合金のハイドロフォーミングは有効な手段である。溶接可能な高強度 7000 系アルミニウム材料を用い、ハイドロフォーミング成型直前に溶体化処理を施し、材料が過飽和固溶体の最軟化状態で加工することにより良好な成形性を確保するとともに、その後の人工時効処理のみで T6 強度を得る。アルミ合金材の冷間加工性は、その自然時効特性により不安定になり易く、加工度が増すほどその影響が量産加工を維持することを困難にさせる。当社で行っている素材保証値を超えた成形ではそのリスクが一段と高い。従って、ハイドロフォーミング直前に常に安定した変形性能を可能にする熱処理工程を連続工程として設定することは、成形の自由度を増し、高強度アルミニウム合金の軽量化素材としての用途を拡大し、二輪、四輪車を始めとするさまざまな工業製品の軽量化に大いに貢献するものである。

ウルトラハighten鋼や高強度マグネシウム材を比強度で上回る軽量高強度のアルミニウム合金製のハイドロフォーミング構造部材の提供を目指し、第一年度の目標として、今回、二輪車フレーム材などに用いられている溶接部強度が時効回復する高強度の 7000 系合金を用いて、図 1-1-1 に示した様にハイドロフォーミング工程直前に溶体化処理を施し、両工程を一体化した工法の研究開発を行った。また、新プロセスの効果として、生産リードタイムの半減と製造時の CO2 排出量を 30%以上削減することも狙った。

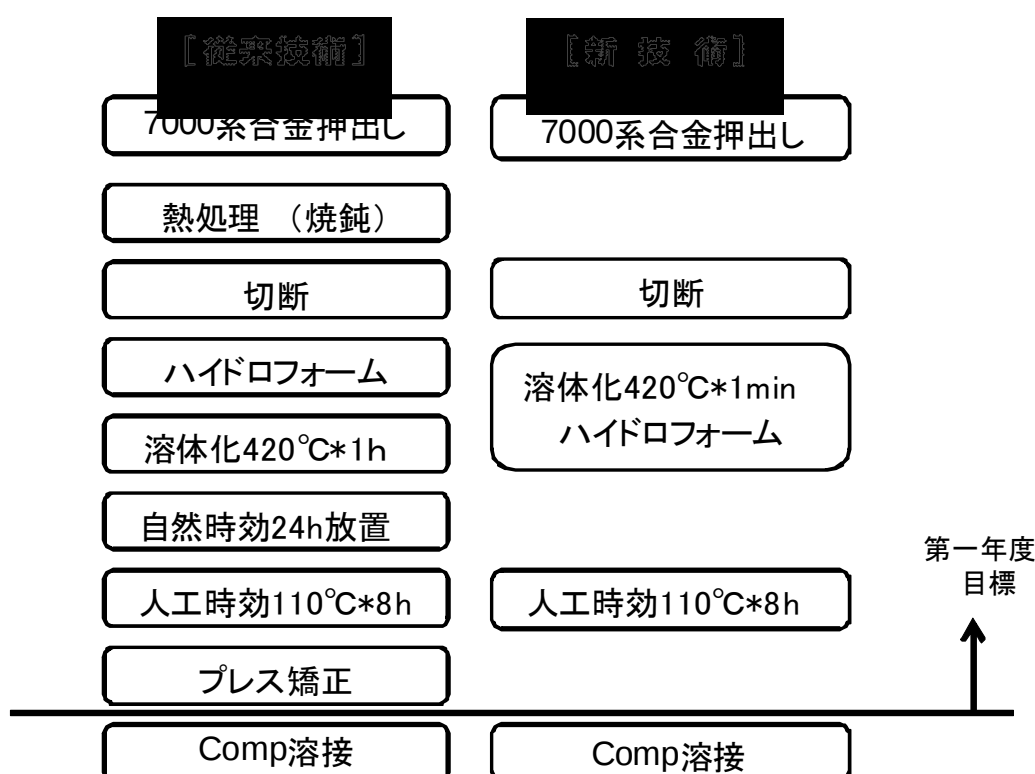
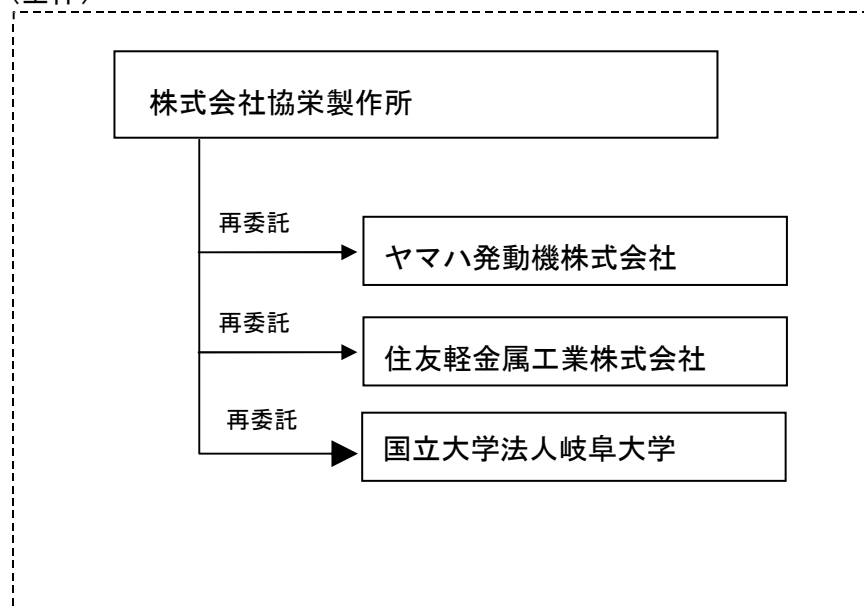


図 1-1-1 従来技術と目標新技術との比較

1-2. 研究体制

1-2-1. 研究組織及び管理体制

1) 研究組織（全体）



統括研究代表者（P L）

株式会社協栄製作所

執行役員 技術部 部長

平口 與志継

副統括研究代表者（S L）

ヤマハ発動機株式会社

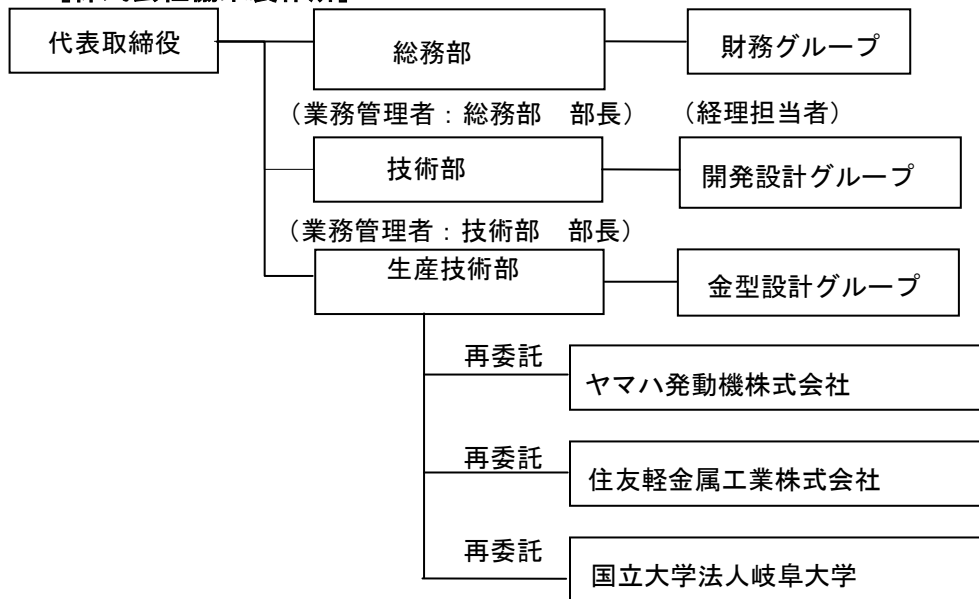
技術本部 生産技術統括部 材料技術部

主査 橋内 透

2) 管理体制

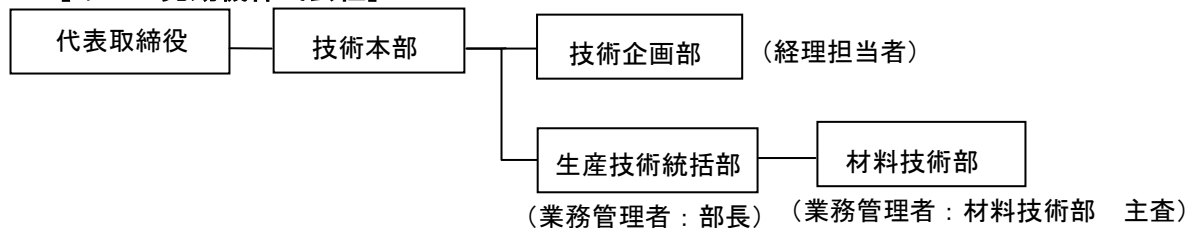
①事業管理者

[株式会社協栄製作所]

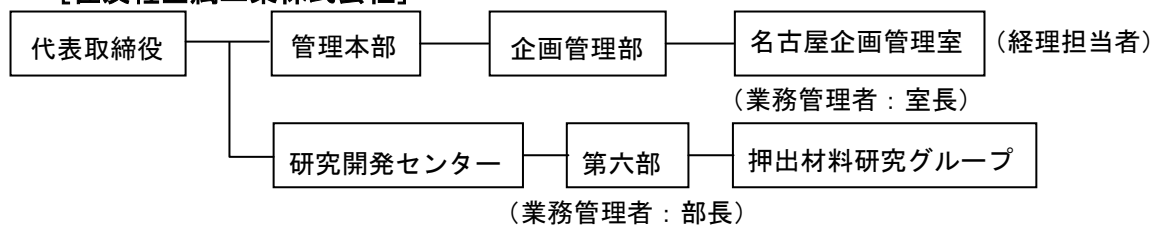


② 再委託先

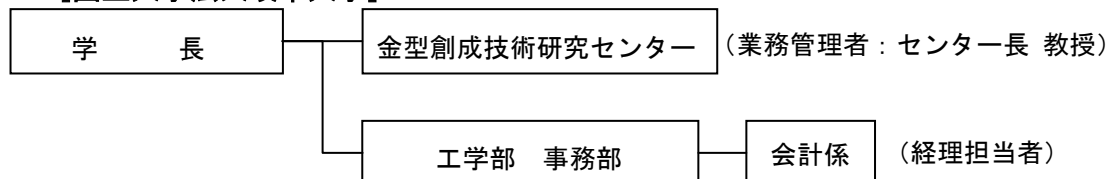
[ヤマハ発動機株式会社]



[住友軽金属工業株式会社]



[国立大学法人岐阜大学]



1-2-2. 管理員及び研究員

【事業管理者】株式会社協栄製作所

①管理員

氏名	所属・役職
平口 與志継	執行役員 技術部 部長
荒熊 康夫	執行役員 総務部 部長
久保田 一二三	総務部 財務グループ チームリーダー
橋本 孝彦	技術部 開発設計グループ

② 研究員

氏名	所属・役職
平口 與志継（再）	執行役員 技術部 部長
橋本 孝彦（再）	技術部 開発設計グループ
高田 哲仁	技術部 開発設計グループ
飯田 哲也	生産技術部 金型設計グループ
木俣 健二	生産技術部 金型設計グループ
水野 有治	生産技術部 金型設計グループ

【再委託先】

（研究員）

ヤマハ発動機株式会社

氏名	所属・役職
橋内 透	技術本部生産技術統括部材料技術部 主査
栗本 幸広	技術本部生産技術統括部材料技術部 主事
廣瀬 敦	技術本部生産技術統括部材料技術部 担当
松下 修	技術本部生産技術統括部材料技術部 上級指導員
佐津川 浩司	技術本部生産技術統括部材料技術部 担当

住友軽金属工業株式会社

氏名	所属・役職
箕田 正	研究開発センター 第六部 押出材料研究グループ 主任研究員
浅居 竜二	研究開発センター 第六部 押出材料研究グループ
入山 裕二	研究開発センター 第六部 押出材料研究グループ
尾崎 貴史	研究開発センター 第六部 押出材料研究グループ

国立大学法人岐阜大学

氏名	所属・役職
山縣 裕	金型創成技術研究センター教授

【協力者・アドバイザー】

国立大学法人静岡大学

氏名	所属・役職
中村 保	工学部機械工学科教授

1-3. 研究成果概要

補正予算枠での非常に短期間の活動であったが、溶接のできる 7000 系アルミニウム合金を用いて、T 6 処理における溶体化処理工程とハイドロフォーミング工程とを連続工程とする新しいプロセスの研究開発を行い、その実用化に目途を付けることが出来た。

【1】熱処理条件と成形性の研究

ハイドロフォーミング前の溶体化処理の最適条件を特定するため、溶体化処理試験を素材および中間工程部材を用いて熱処理の基礎特性を調査した。溶体化の温度と結晶粒の粗粒化の関係を明確にし、成形に最適な温度条件を特定した。また、溶体化処理後にハイドロフォーミング工程を挟みその後人工時効処理を行うため、冷間での塑性加工の影響がないことも確認できた。

【2】熱処理のインライン化の研究

【1】の結果を基に、ハイドロフォーミング工程と一体化（1 個流し）できる溶体化の熱処理条件の検討を本研究開発用に製作したガス燃焼式熱処理炉を用いて実施した。ハイドロフォーミング工程のタクトは 1 ～1.5 分であるため、そのタクトに合わせた溶体化処理（水焼入れを含む）条件を得ることができた。

【3】新プロセスでの成形品の評価

【2】で作製したハイドロ成形品について、その機械的性質、耐応力腐食割れ性について評価した。各評価とも従来工程品と遜色ない結果が得られた。

1-4. 当該研究開発の連絡窓口

所属 : 株式会社協栄製作所 技術部
氏名 : 平口與志継
電話 : 053-425-2511
FAX : 053-425-4425
E-mail: hiraguchi_y@kyoei-seisaku.co.jp

第2章 本論

2-1. 熱処理条件と成形性の研究

2-1-1. 最適溶体化処理条件の調査

(1) 目的

本研究で用いたリアームにおける開発工程は下記のとおりである。

0材→ハイドロ1→溶体化処理→ハイドロ2,3→人工時効処理

溶体化処理前にハイドロ成形を1工程行うため、溶体化処理に伴ってグレインクロス（粗粒化）が起こると、肌荒れの原因となり、さらに溶着部ではハイドロ2,3工程で破裂する。そこで、グレインクロスの発生しない溶体化処理条件を調査した。このグレインクロスは、溶体化処理前にハイドロ工程がなくとも押出し型材を使用する際には同様に懸念される課題であり、本調査はいずれにしても必要となる。

(2) 実験方法

供試材として、下記の2種類の合金を用いた。

- ・合金A：Al-(4.0-5.0)%Zn-(1.0-2.0)%Mg-Mn, Zr
- ・合金B：Al-(5.0-6.5)%Zn-(0.5-1.0)%Mg-Zr（量産品）

それぞれ、ハイドロ1工程のみ成形したサンプルを作製し、溶体化処理、焼入れおよび人工時効処理を行い、断面組織観察および硬さ測定を行った。このとき、溶体化処理には塩浴炉を用い、5種類の温度で5min保持した後、室温で水焼入れを行った。焼入れ後、さらに人工時効処理を行い、T6調質にした。

断面組織観察は最も拡張率の高い位置（端部より255mmの位置）で行い、グレインクロスの生成に及ぼす溶体化処理温度の影響を調査した。さらに、ビッカース硬さ測定を行うことで強度に及ぼす溶体化処理温度の影響を調査した。実験工程を図2-1-1、供試材の外観を図2-1-2に示す。

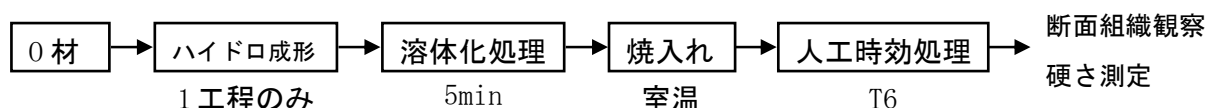


図 2-1-1 実験工程



図 2-1-2 供試材の外観

(3) 組織観察結果

組織観察結果を図 2-1-3 および図 2-1-4 に示す。合金 A、合金 B とも、溶体化処理温度が低いほど、グレインクロスが軽微になる傾向がみられた。特に合金 B ではその傾向が顕著に観察された。

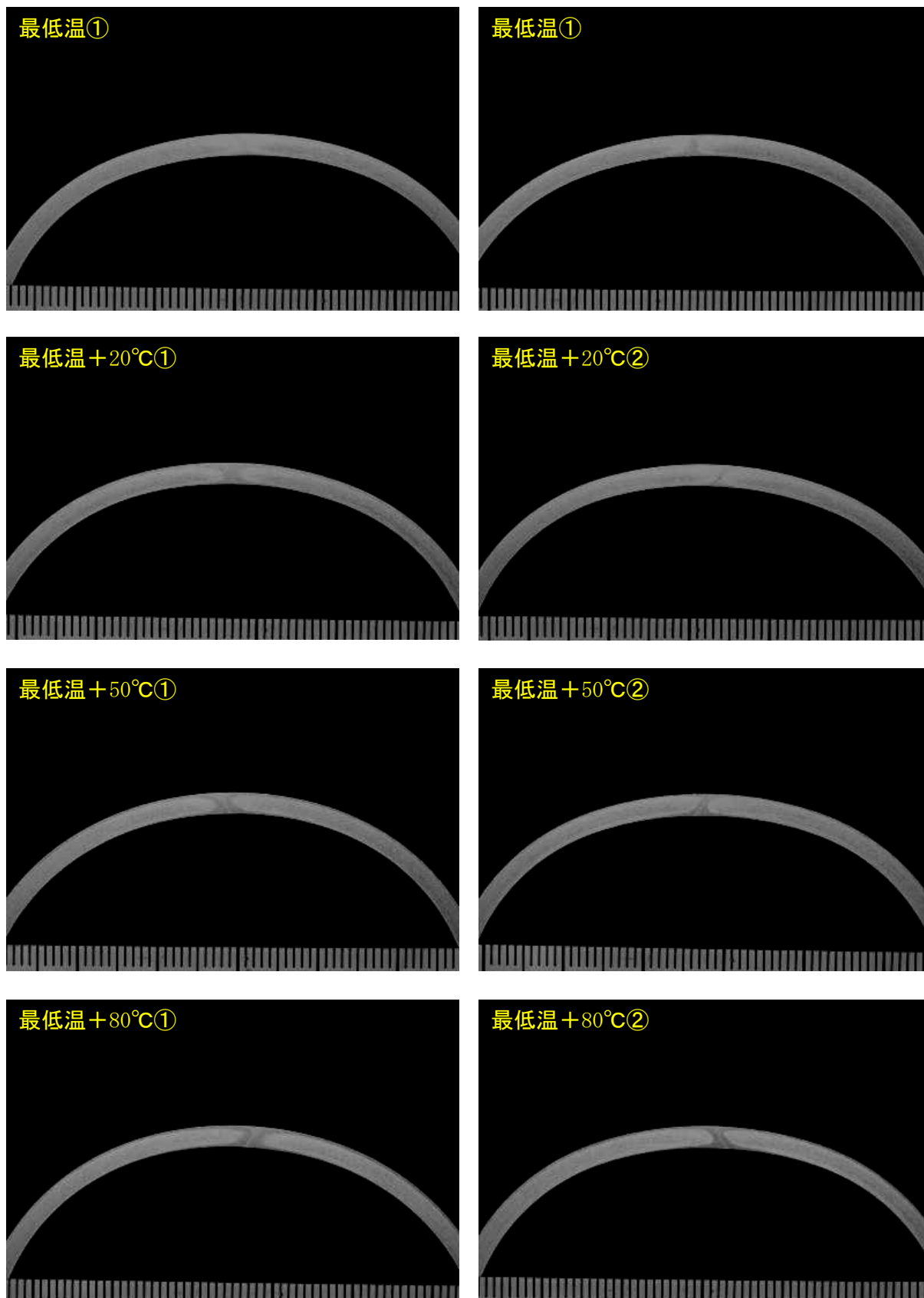


図 2-1-3 合金 A のグレインクロスに及ぼす溶体化処理温度の影響

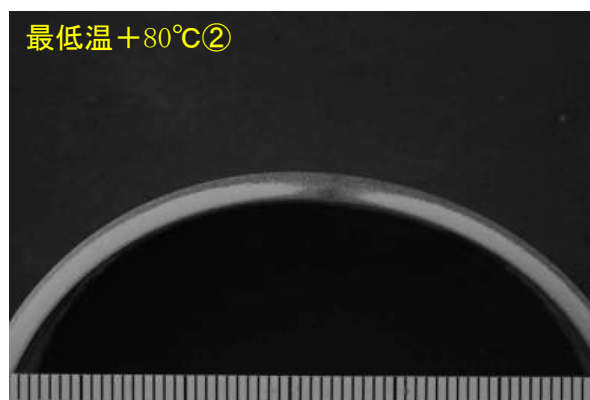
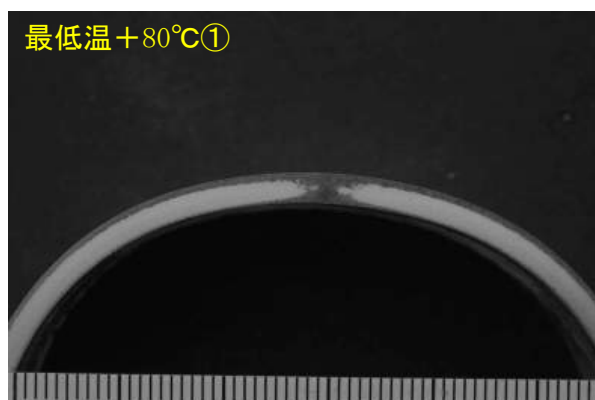
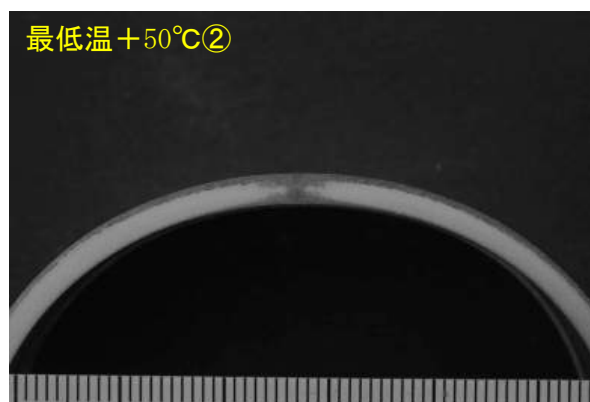
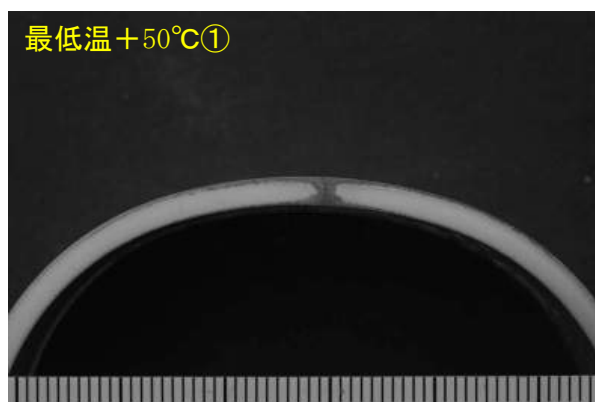
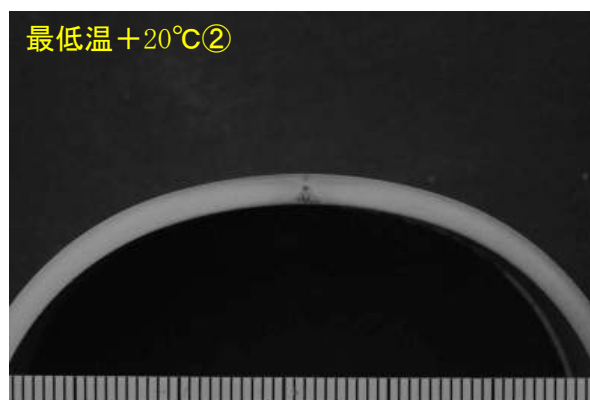
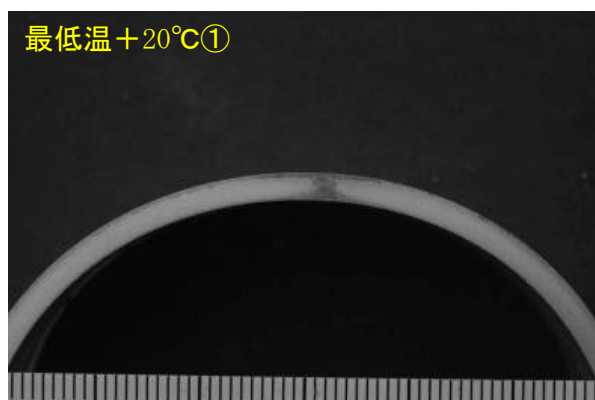
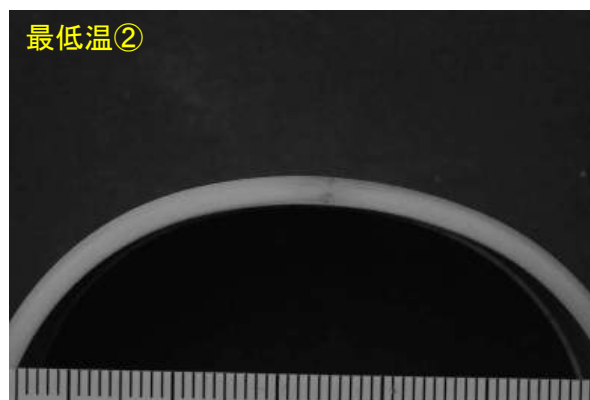
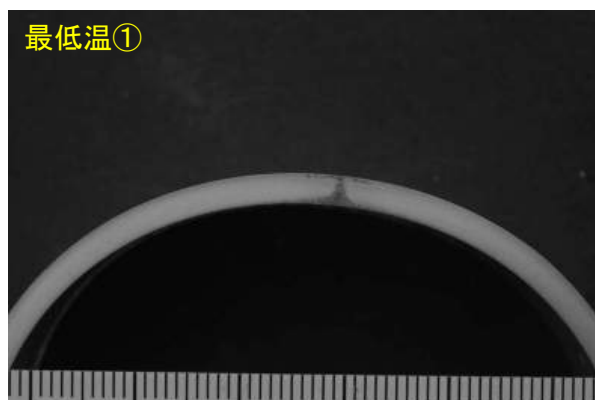


図 2-1-4 合金 B のグレインクロスに及ぼす溶体化処理温度の影響

(4) 硬さ測定結果

T6 処理後のビッカース硬さに及ぼす溶体化処理温度の影響を図 2-1-5 に示す。合金 A、合金 B とともに、試験温度範囲で硬さ変化はほとんどみられなかった。このことから、溶体化処理を試験温度範囲の最低温度で行っても、強度低下の懸念はないと考えられる。

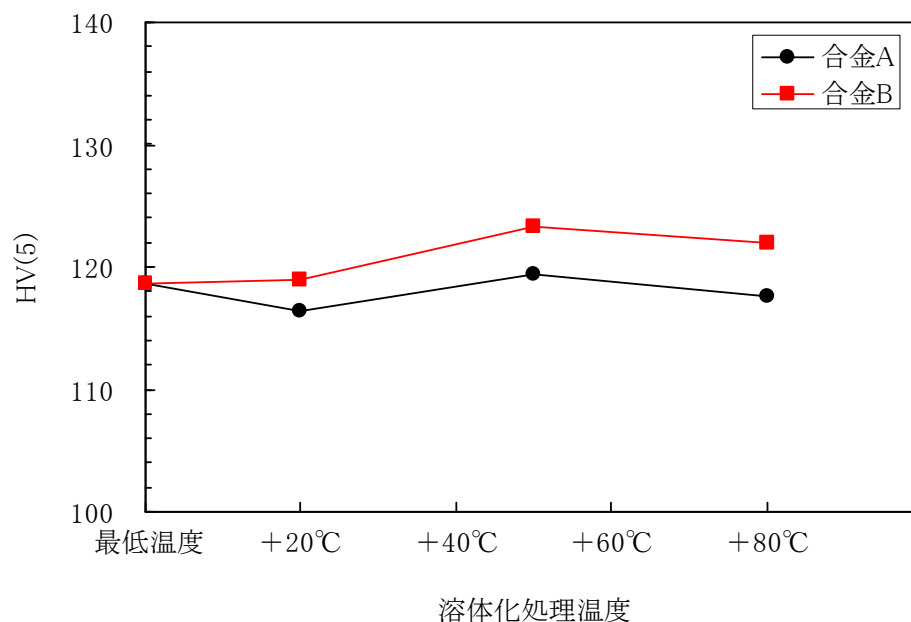


図 2-1-5 T6 処理後のビッカース硬さに及ぼす溶体化処理温度の影響

(5) 小活

- ①合金 A、B とも、溶体化処理温度が低いほど、グレインクロスは軽微になる傾向がみられた。
- ②合金 A、B とも、溶体化処理温度が試験温度範囲内では T6 処理後の硬さに及ぼす溶体化処理温度の影響はみられなかった。
- ③以上の結果より、ハイドロ成形前の溶体化処理温度は試験温度範囲内の最低温度が良いと考えられる。

2-1-2. 焼入れ条件と自然時効硬化特性の関係

(1) 目的

開発工程（溶体化処理直後のハイドロ成形）では、焼入れから成形を行うまでの自然時効による硬化特性を明確し、設備仕様に反映する必要がある。そこで、検討対象合金の自然時効硬化特性を調査した。

(2) 実験方法

供試材として、以下の2種類の合金を使用した。

- ・合金A : Al-(4.0-5.0)%Zn-(1.0-2.0)%Mg-Mn, Zr
- ・合金B : Al-(5.0-6.5)%Zn-(0.5-1.0)%Mg-Zr

それぞれ $t3\text{mm} \times w130\text{mm}$ の押出材を $\square 20\text{mm}$ に切断し、軟化処理を行って0材に調質した後、塩浴炉を用いて溶体化処理を行い、水中に焼入れを行った。このとき、焼入れ水温および保持時間は $20^\circ\text{C}-1\text{min}$ 、 $60^\circ\text{C}-1\text{min}$ 、 $60^\circ\text{C}-5\text{min}$ の3条件とした。焼入れ後の試験片は直ちに液体窒素中に投入し、ビッカース硬さ測定直前に常温に戻し、室温保持時間0h~6hでの硬度変化を測定した。このとき、室温はエアコンで $20\sim 25^\circ\text{C}$ に保持した。

(3) 結果

焼入れ直後から6hまでのビッカース硬さに及ぼす焼入れ温度および保持時間の影響を図2-1-6に示す。合金Aおよび合金Bでは硬さの測定結果に多少のばらつきはみられるが、焼入れ温度および保持時間による有意差はみられなかった。

(4) 小活

①合金Aおよび合金Bでは、ビッカース硬さに及ぼす焼入れ温度および保持時間の影響はみられなかった。

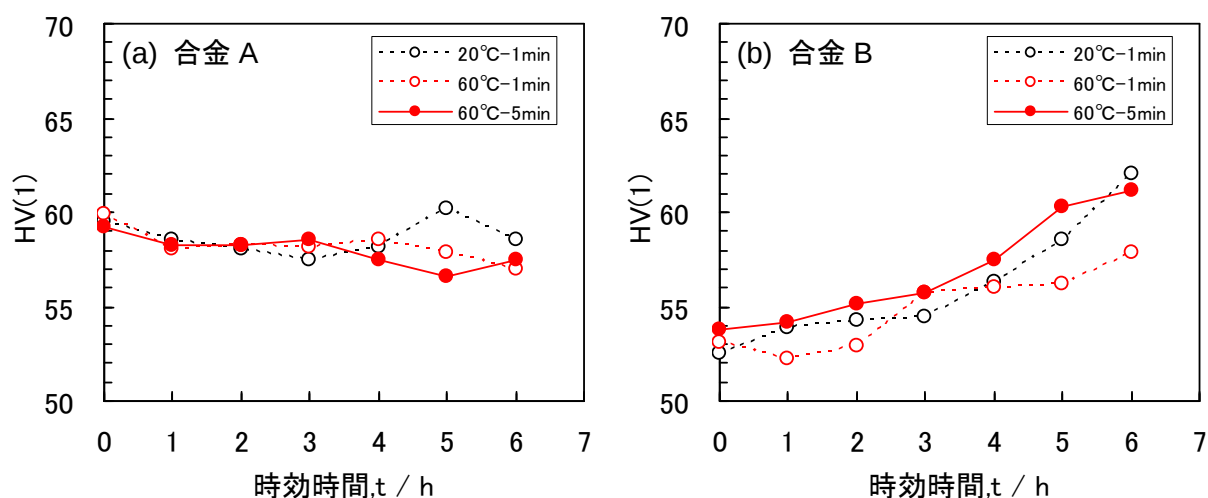


図 2-1-6 焼入れ後の硬さ変化に及ぼす焼入れ温度および焼入れ水中での保持時間の影響

2-2. 熱処理のインライン化の研究

2-2-1. 予備試験

(1) 目的

開発工程(溶体化処理直後のハイドロ成形)では、短時間の熱処理で溶体化処理を行い、供試体の硬度を均一にして成形性を安定化させる必要がある。2-1 項での基礎研究の成果を実際に確認するため実験炉として導入した急速加熱アルミ熱処理装置で供試体の昇温状態と溶体化処理後の硬度を調査した。

(2) 実験方法

1) 実験炉の設定温度に対する昇温特性について

実験炉はガス燃焼式で昇温ゾーンと均熱ゾーンを持ち、出口側に焼入れ用の水槽を備え、部材を1個ずつ搬送チェーンに乗せて炉内を通過させる仕様になっている。予備試験前に実験炉の昇温性能を調査したところ、昇温ゾーンの設定温度を目標温度より高目に設定するほうが目標温度に設定した場合より短時間で到達する傾向が確認された。いくつかの温度設定をトライした結果、予備試験における昇温ゾーンの設定温度は、目標設定温度 +10℃が妥当であると判断されたので、目標温度設定をT℃とする場合、以下のように溶体化処理温度を設定した。

・ T℃目標温度設定 → 昇温ゾーン設定：T +10℃，均熱ゾーン設定：T℃

供試体に両端部(端から50mm)と中央部の計3ヶ所に熱電対を取り付けた後、熱電対が付いている面を上側にして下記の温度測定機器を用いて测温した。測定の状況を図2-2-1に示す。温度測定にはHIOKI 8421 MEMORY HILOGGER (8chデータロガー)を使用した。

2) 溶体化処理後の硬度測定

供試体として、以下の合金を使用した。

- ・ 合金 A : Al-(4.0-5.0)%Zn-(1.0-2.0)%Mg-Mn, Zr,
- ・ 合金 B : Al-(5.0-6.5)%Zn-(0.5-1.0)%Mg-Zr

溶体化処理は、20℃間隔で6条件設定し、上記の設定温度にて実施した。処理時間は、15分。

硬度測定には、ビッカース(4.9N)硬度計を用いた。

急速加熱アルミ熱処理装置で溶体化処理し焼入れを行った後、10分以内に供試体の硬度を測定した。

(3) 結果

1) 実験炉の設定温度に対する昇温特性について

急速加熱アルミ熱処理装置を使い、加熱から水冷までの測温を行った。一例として、480℃での結果を図 2-2 に示す。各温度とも昇温ゾーン域で投入後 400 秒程度でほぼ目標温度に到達した。均熱ゾーンではほぼ設定温度で安定して温度が保持され、出口付近になると温度が多少低下する傾向が確認された。供試体の部位において温度の上昇速度がわずかに異なっていた。最も昇温が速い部位は、CH1(投入口から見て右側)であり、CH2(中央)と CH3(左側)の順番で昇温が遅くなっていた。

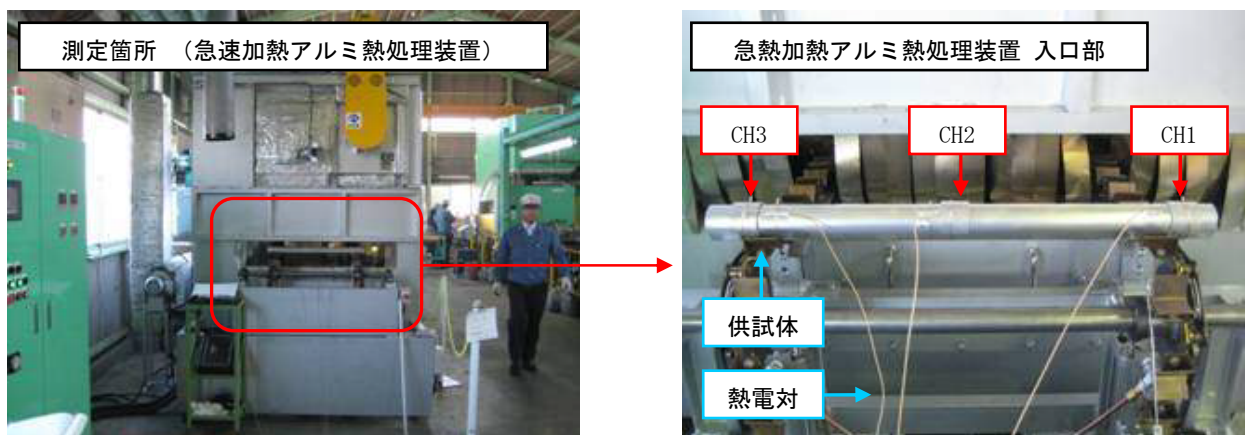


図 2-2-1 予備試験の状況

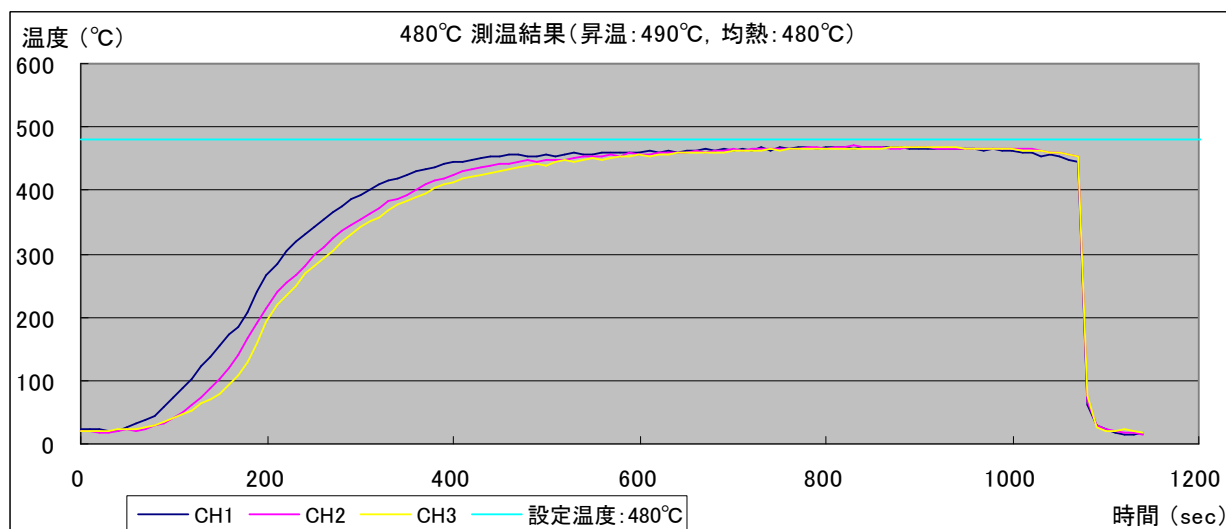


図 2-2-2 設定温度 480℃の結果

2) 溶体化処理後の硬度測定結果

各温度での溶体化処理後の硬度測定結果を表 2-2-1 および図 2-2-9, 測定位置を図 2-2-10 に示す。
合金 A は溶体化処理前の素材硬さよりわずかに硬くなった。
合金 B は処理前の素材より軟化した。2 つの合金ともに、熱処理温度が変化しても、硬さはほぼ一定であった。

表 2-2-1 硬度測定結果

材質	測定 ポイント	素材値	熱処理温度 (°C)						
			最低温度T	T+20	T+40	T+50	T+60	T+80	T+100
合金 A	A	52.8	58.0	57.7	56.3	58.0	53.1	56.3	54.4
	B	53.1	58.0	56.3	56.3	58.8	58.3	59.4	58.3
	C	54.1	56.8	56.0	57.1	57.1	56.5	57.7	56.3
	D	53.1	58.3	58.0	57.4	56.8	57.4	58.8	56.8
	Ave.	53.3	57.8	57.0	56.8	57.7	56.3	58.1	56.5
合金 B	A	59.1	47.5	46.0	49.5	48.3	46.4	49.5	49.2
	B	60.0	50.6	49.5	49.2	49.9	47.7	50.9	49.5
	C	59.1	49.9	48.8	47.9	46.8	47.9	50.6	49.5
	D	58.8	48.8	48.3	48.3	49.7	47.0	49.5	49.2
	Ave.	59.3	49.2	48.2	48.7	48.7	47.3	50.1	49.4

単位: Hv

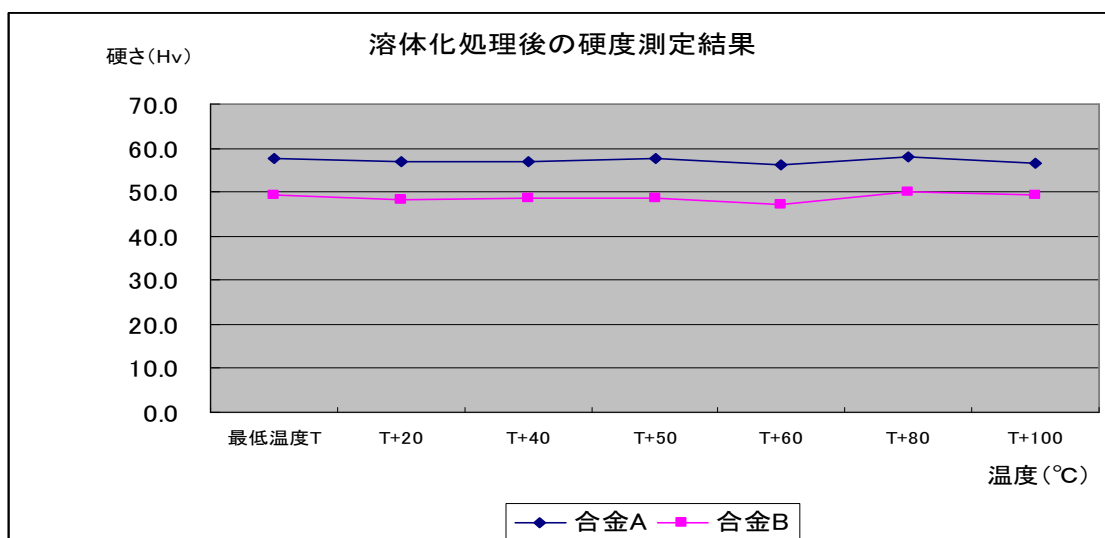


図 2-2-9 溶体化処理後の硬度測定結果

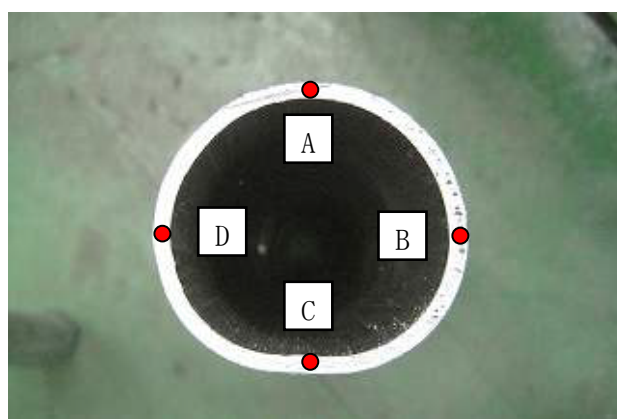


図 2-2-10 硬度測定位置

2-2-2. 導入熱処理炉による最適溶体化処理条件の検証

(1) 目的

前項 2-1-1. において、最適溶体化処理温度を設定した。そこで、溶体化処理温度を最適溶体化処理温度の周辺で変化させてハイドロ成形トライを行うことにより、導入した急速加熱アルミ熱処理炉（図 2-2-11）における溶体化処理条件の検証を行った。

(2) 実験方法

トライには下記に示す合金 A を用いた。

・合金 A : Al-(4.0-5.0)%Zn-(1.0-2.0)%Mg-Mn, Zr

合金 A について、0 材で 1 工程目を成形し、その後 6 条件の温度で溶体化処理を行い、焼入れ後ただちに 2, 3 工程目のハイドロ成形を行い、形状、傷、シワ肌荒れ等の成形状態を観察した。その後、人工時効処理を行い、断面組織観察を行った。このとき組織観察は、最も拡張率の大きい位置で行った。使用したハイドロフォーミング装置は、(株)協栄製作所所有のオプトン社製 EC0-600H および山本水圧社製 1200T である。

(3) 結果

1) 成形性について

20℃間隔で 6 条件の各温度で夫々 n=2 づつ溶体化処理を行った後、ハイドロフォーミングを実施した。成形性は最低温度+20℃が最も良好で、最低温度+40℃以上では成形性が低下した。粗粒化のような荒れた外観になり肌荒れが目立った。最低温度では多少シワが発生したが肌荒れもなく概ね良好であった。成形性を観察した結果を表 2-2-2 に示す。

表 2-2-2 溶体化処理温度と成形性

溶体化処理温度℃	成形性	肌荒れ性粗粒化	シワ	備考
最低温度	○ ○	○ ○	× ×	
最低温度 +20	○ ○	○ ○	× ○	本条件で評価サンプルを製作 23 本
最低温度 +40	○ 割れ	× ×	× —	第2工程で割れ
最低温度 +50	○ ○	× ×	○ ○	溶着ラインで割れ
最低温度 +60	○ ×	× ×	○ ○	溶着ラインに凹み
最低温度 +80	○ 割れ	× ×	△ —	第2工程で割れ 溶着ラインに凹み
最低温度 +100	○ 割れ	× ×	× —	第2工程で割れ 溶着ラインに凹み

* 評価 ○: 合格 ×: 不合格 △: 判断できず

2) 断面マクロ組織について

トライ材の外観および断面マクロ組織を、溶体化処理温度別にそれぞれ図 2-2-12～17 に示す。溶体化処理温度が最低温度+100℃の場合には、溶着部でグレイングロスが発生しており、外観でも顕著な肌荒れが観察された。特にリアアーム上側（断面マクロ組織の左側）のグレイングロスが酷い傾向がみられた。一方、溶体化処理温度を下げるによりグレイングロスは改善され、溶体化処理が最低温度+20℃では表面にわずかに残る程度であった。さらに最低温度では完全にグレイングロスが抑制された。

(4) 小活

グレイングロスの観点からは溶体化処理温度は試験温度範囲での最低温度がベストであった。成形時に見られた多少のシワについては、成形条件の見直しで改善できる範囲のものである。



図 2-2-11 導入した急速加熱アルミ熱処理装置



溶着部拡大

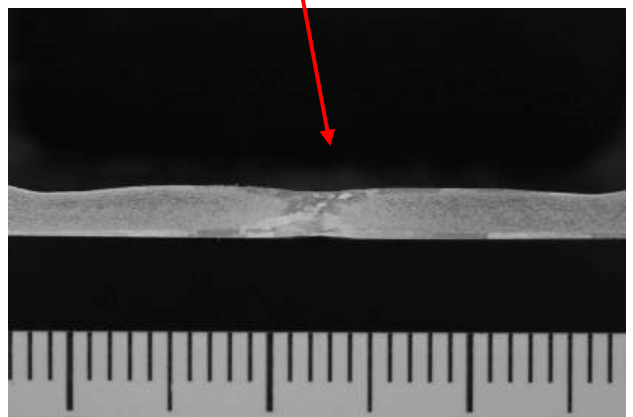
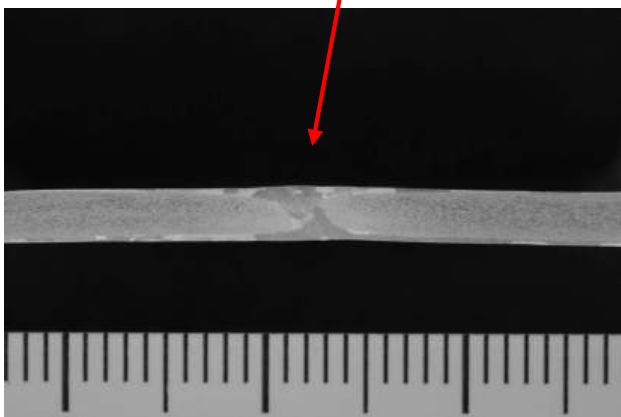
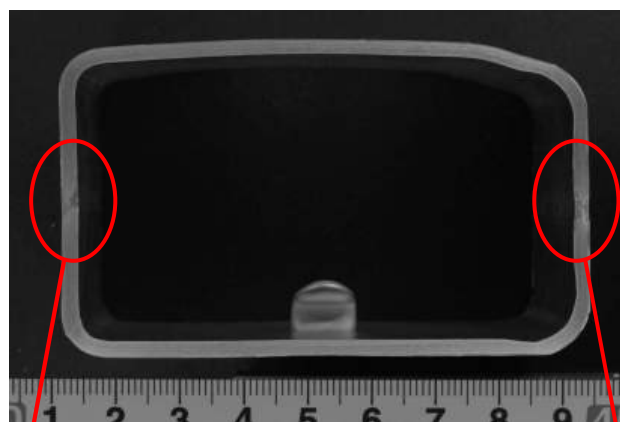
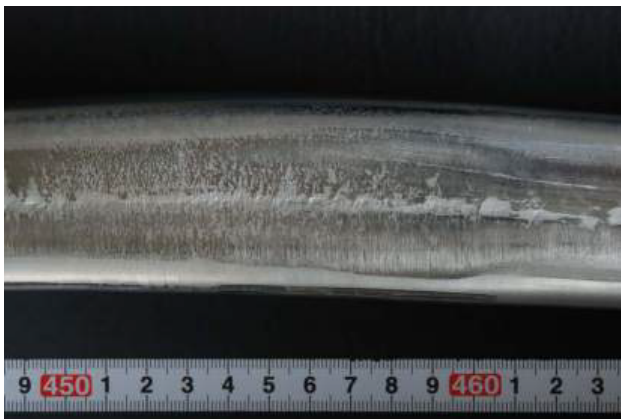


図 2-2-12 溶体化処理材の外観および断面マクロ組織（最低温度+100℃）



溶着部拡大

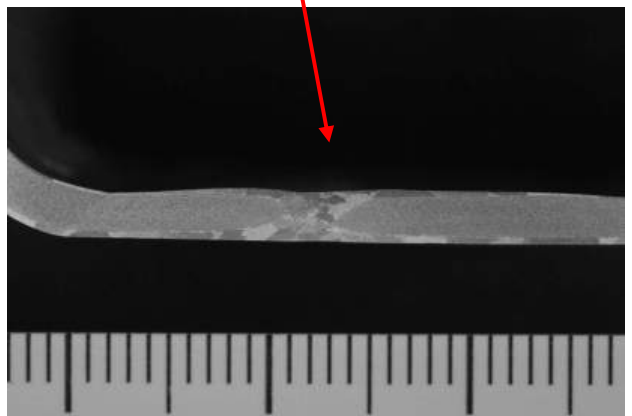
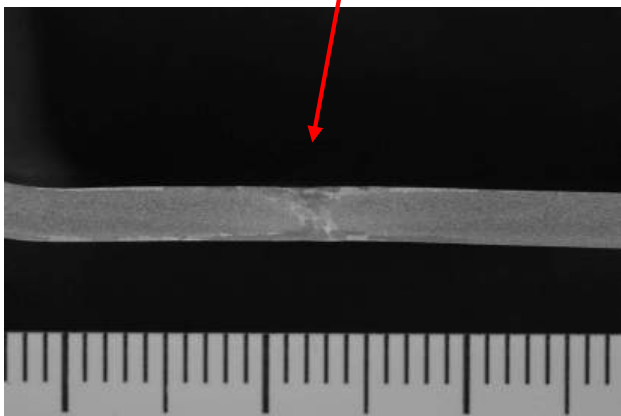
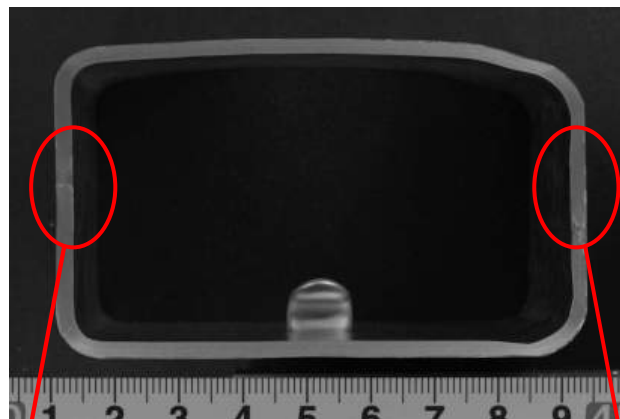


図 2-2-13 溶体化処理材の外観および断面マクロ組織（最低温度+80℃）



溶着部拡大

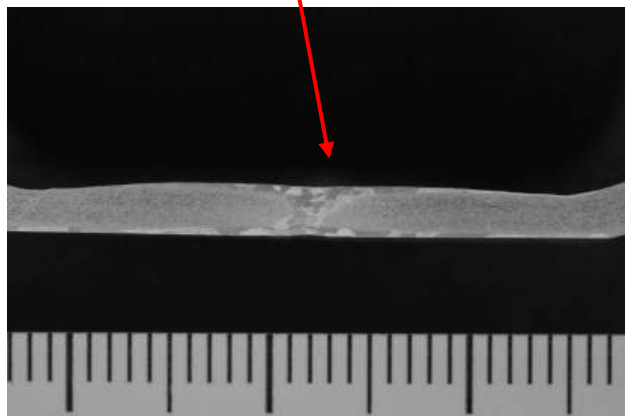
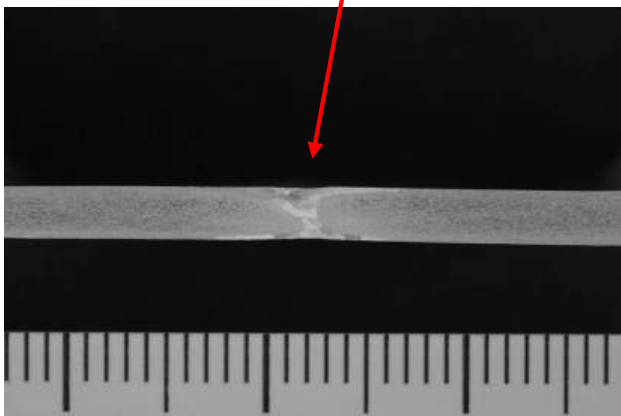
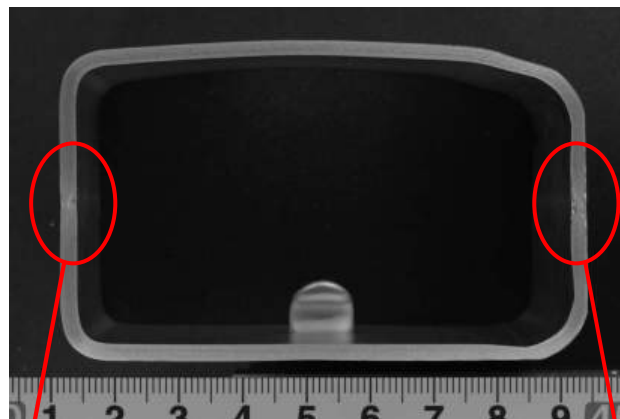


図 2-2-14 溶体化処理材の外観および断面マクロ組織（最低温度+60℃）



溶着部拡大

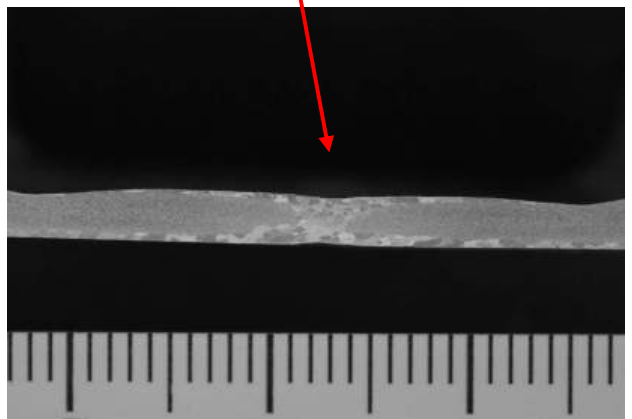
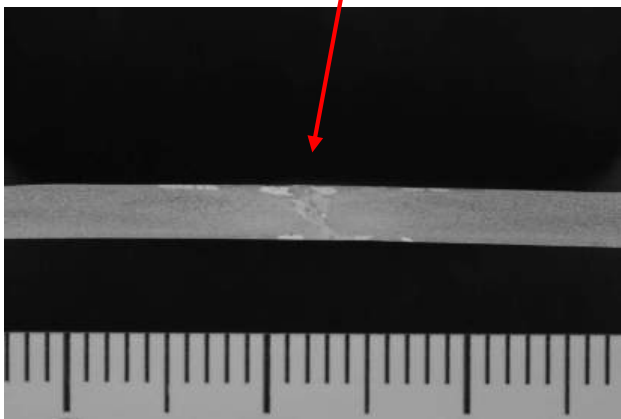
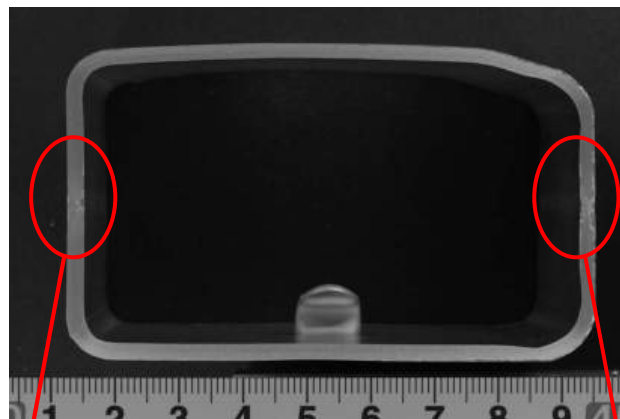


図 2-2-15 溶体化処理材の外観および断面マクロ組織（最低温度+40℃）



溶着部拡大

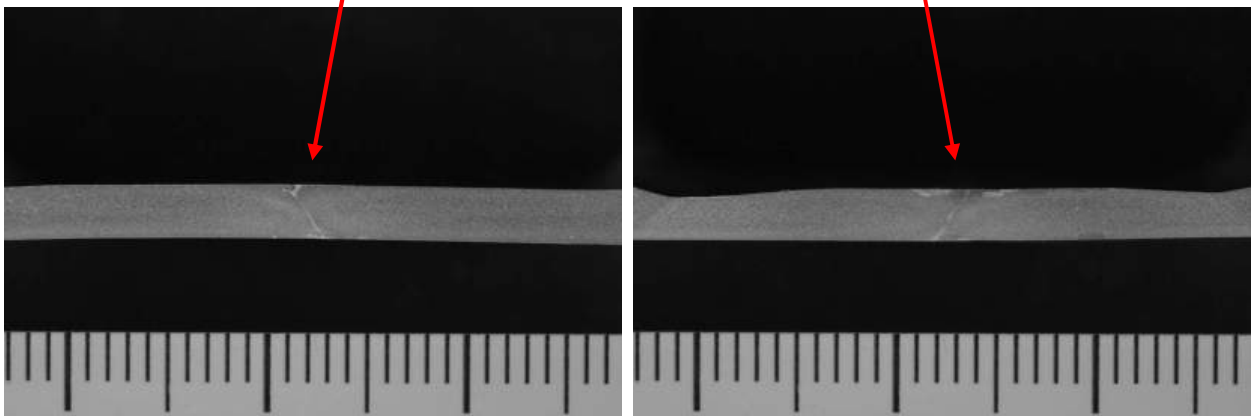
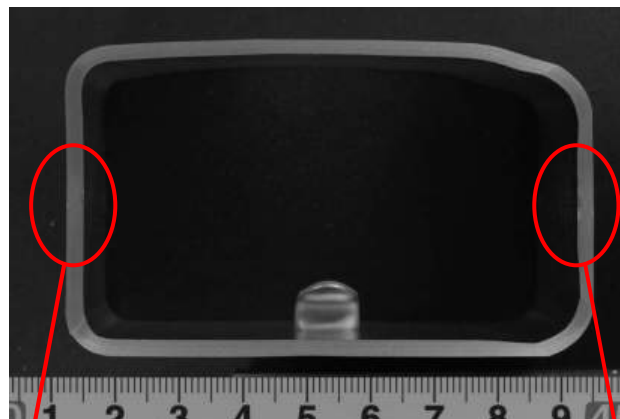
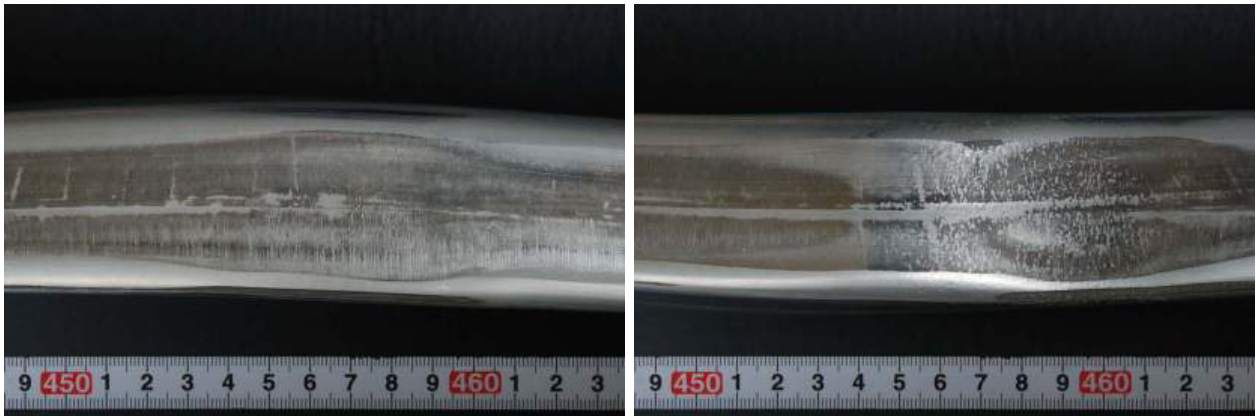


図 2-2-16 溶体化処理材の外観および断面マクロ組織（最低温度+20℃）



溶着部拡大

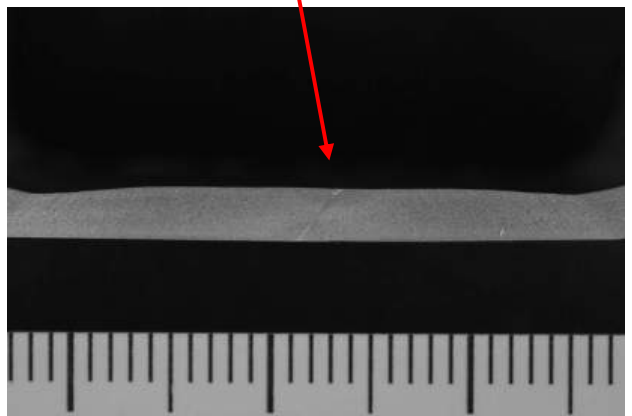
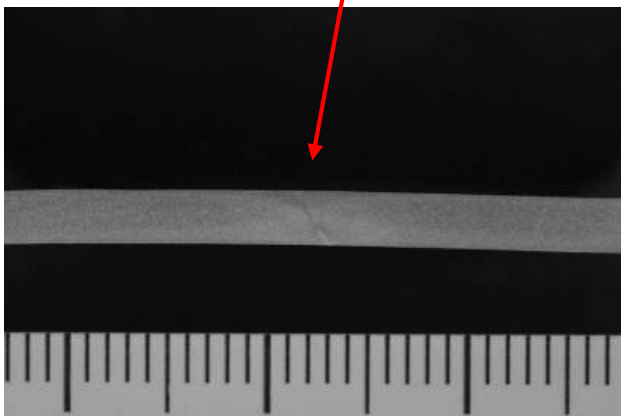
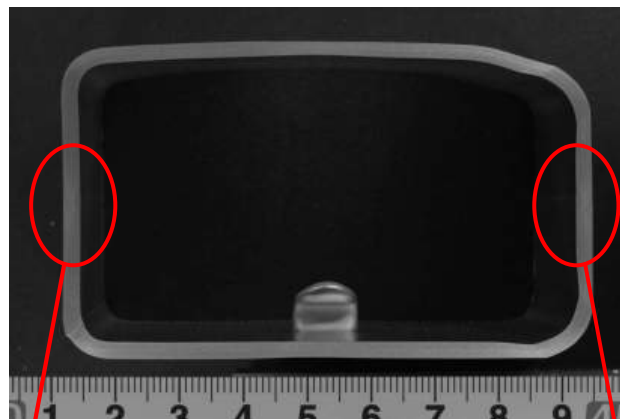


図 2-2-17 溶体化処理材の外観および断面マクロ組織（最低温度）

2-2-3. 新プロセスの n 増し実証トライ

(1) 目的

急速加熱による溶体化処理とハイドロフォーミングを連続して行なう新プロセスを実用化するための実証トライを行った。また、成形サンプルについて機械的性質、耐久性、耐食性を確認した。

(2) 実験方法

新プロセスの工程を以下に示す。

プリ成形（必要に応じて）→ 溶体化熱処理 → 水焼入れ → ハイドロフォーミング
→ 人工時効処理 → 後工程（必要に応じて）

各供試材の名称とその合金を以下に示す。

・トライ部品＝アーム・・・合金 A：Al-(4.0-5.0)%Zn-(1.0-2.0)%Mg-Mn, Zr

溶体化処理温度は、2-1 の熱処理条件と成形性の結果から、2-1-1 項に示した最低温度とした。また、新プロセスにおける成形品の部品機能の評価を行った。

使用したハイドロフォーミング装置は、(株)協栄製作所所有のオプトン社製 EC0-600H および山本水圧社製 1200T である。

(3) 結果

1) 新プロセスの実証トライ結果

アームについて 23 本の連続トライを実施した。2 工程の連続成形を行い、2 工程目で多少のシワが見られた。結果を、図 2-2-18、19 に示す。



図 2-2-18 ハイドロ成形作業



図 2-2-19 アーム成形品

2-3. 新プロセスでの成形品の評価

2-3-1. 機械的性質について

(1) 目的

成形状態が良好な溶体化温度で作製したサンプルを用い、従来工程品との機械的性質を比較し実用化の可能性を評価した。

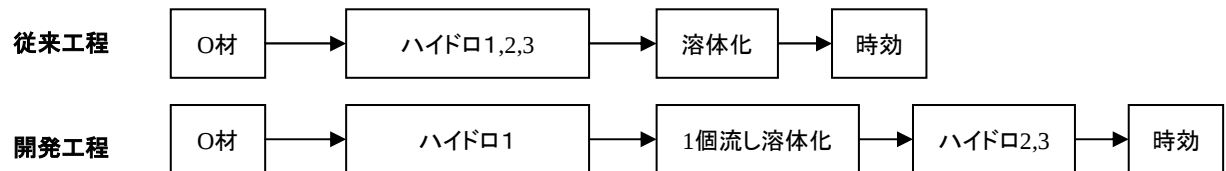


図 2-3-1 工程の比較

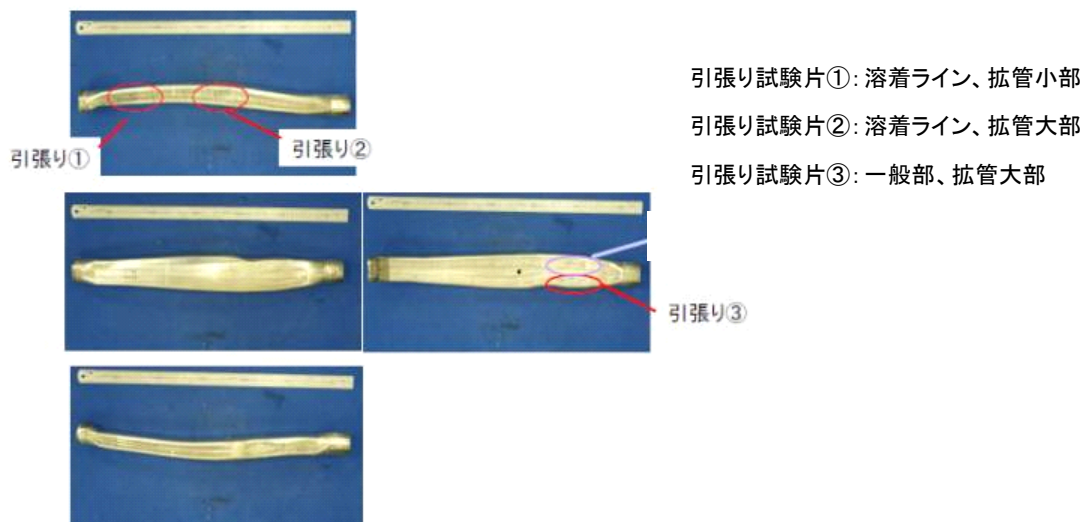
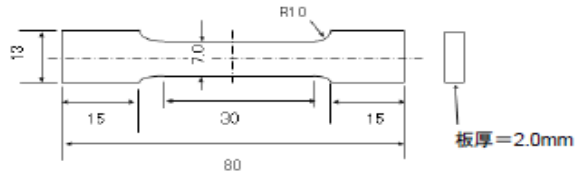


図 2-3-2 成形サンプル外観と試験片取得位置

引張試験片形状



引張り試験

試験機: インストロン万能試験機(5882型)

試験速度: 1mm/min

評点間距離: 25mm

耐力: 伸び計にて0.2%変位時の応力値算出

図 2-3-3 試験片形状とテスト方法

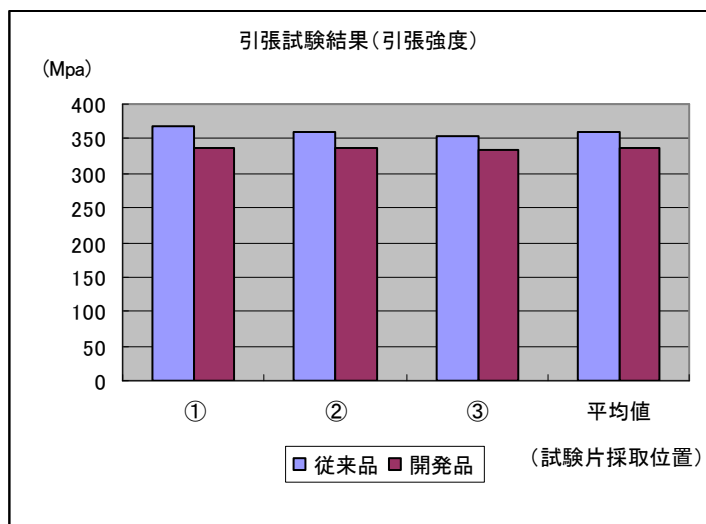
(2) 試験片取得位置と試験方法

強度評価用試験片の取得位置を図 2-3-2 に示す。また、評価方法および試験片形状を図 2-3-3 に示す。

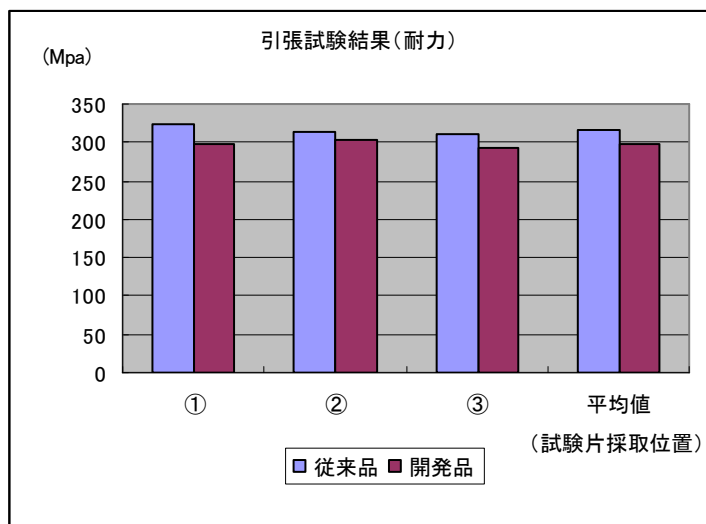
(3) 試験結果

1) 引張り試験

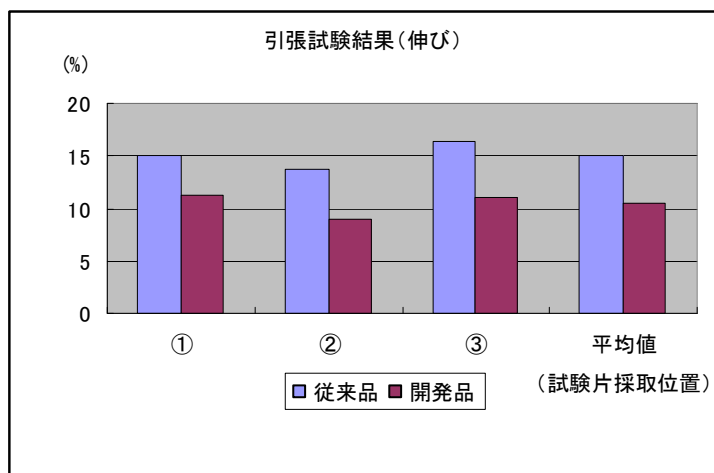
従来工程品、開発工程品それぞれ 5 つのサンプルから取得した 3 つの部位の引張り試験結果を表 2-3-1、表 2-3-2 に示す。開発工程品は合金 A の T6 の強度規格 $\sigma_B \geq 335\text{MPa}$ 、 $\sigma_{0.2\%} \geq 275\text{MPa}$ 、 $\delta \geq 10\%$ を満たさないものがあり、従来工程品より強度が劣っている。しかしながら、今回の開発工程品は部位やワークによるバラツキが小さくなっている。



a. 引張強度 (MPa)



b. 耐力 (MPa)



c. 伸び (%)

図 2-3-4 引張試験結果

表 2-3-1 従来工程品の引張り試験結果

	$\sigma_B(\text{MPa})$	$\sigma_{0.2\%}(\text{MPa})$	$\delta(\%)$
合金B-1	372	325	14.8
合金B-2	365	323	15.2
合金B-3	364	323	15.6
合金B-4	365	327	14
合金B-5	368	327	16
①部平均	367	325	15.1
合金B-1	356	308	13.6
合金B-2	366	320	13.2
合金B-3	362	315	14
合金B-4	363	317	13.6
合金B-5	360	307	14.8
②部平均	361	313	13.8
合金B-1	362	307	12.8
合金B-2	354	309	20.4
合金B-3	361	317	16.8
合金B-4	349	308	16.4
合金B-5	350	308	15.2
③部平均	355	310	16.3
全体平均	361	316	15.1

表 2-3-2 開発工程品の引張り試験結果

	$\sigma_B(\text{MPa})$	$\sigma_{0.2\%}(\text{MPa})$	$\delta(\%)$
合金A-1	331	289	12.4
合金A-2	337	300	8.4
合金A-3	342	301	12.8
合金A-4	338	298	11.2
合金A-5	335	296	11.2
①部平均	337	297	11.2
合金A-1	328	293	7.6
合金A-2	339	307	8.8
合金A-3	336	302	8.8
合金A-4	336	305	7.2
合金A-5	339	307	12
②部平均	336	303	8.9
合金A-1	326	281	12.4
合金A-2	338	298	12.8
合金A-3	337	298	11.6
合金A-4	334	294	6.8
合金A-5	335	296	11.3
③部平均	334	293	11.0
全体平均	336	298	10.4

(4) 小括

導入した熱処理炉を使った合金A開発工程成形材の機械的性質を調査し以下の結果が得られた。開発工程品は従来工程品に対し強度、伸びともに低く合金Aの素材強度規格を満足していないものがあった。しかしながら、今回評価の開発品の強度バラツキは従来工程品並みであった。

(5) 考察

今回評価した開発工程品は、GGによる肌荒れがなくなっているため、強度のバラツキがなくなったと考える。

また、開発工程品の引張り強度が従来工程品に対し低くなっているのは、開発工程品が合金A (Al-(4.0-5.0)%Zn-(1.0-2.0)%Mg) 材なのに対し、従来工程品が合金B (Al-(5.0-6.5)%Zn-(0.5-1.0)%Mg) 材で合金が異なることが主な原因だと考える。

2-3-2. 耐 SCC 性（応力腐食割れ感受性）の確認

(1) 目的

開発工程で作製したリアーム材について、耐 SCC 性（耐応力腐食割れ性）を調査し、製品としての有効性を確認すること。

(2) 実験方法

供試材として、下記に示す合金 A を用いた。

・合金 A : Al-(4.0-5.0)%Zn-(1.0-2.0)%Mg-Mn, Zr

合金 A の 0 材を用い、ハイドロ 1 工程目の加工を行った後、本事業で導入した急速加熱炉を用い、溶体化処理および水焼入れを行ない、直ちにハイドロ 2, 3 工程の加工を行い、人工時効処理を行うことで、テスト用のリアームを作製した。

耐 SCC 性テストは、クロム酸煮沸により行った。

(3) 結果

SCC 試験結果

クロム酸煮沸による SCC 試験後の外観を図 2-3-5 に示す。試験液組成は、酸化クロム (CrO_3) 36 g/l、重クロム酸カリウム ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) 30g/l、塩化ナトリウム (NaCl) 3g/l の水溶液とし、90℃で 6 h 浸せき後に、割れの有無を調査した。

テストを行った開発工程品（合金 A）では割れの発生はなかった。

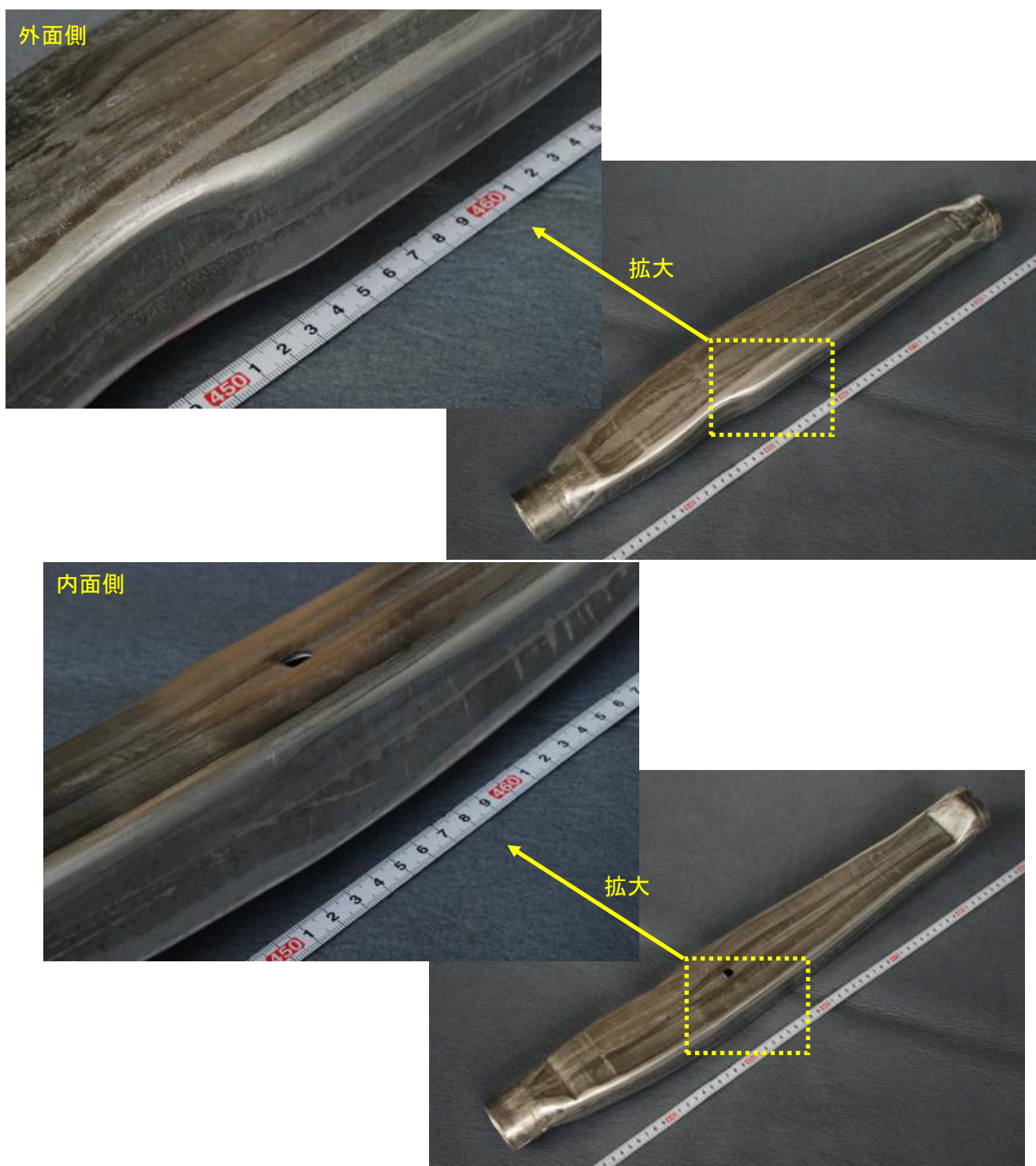


図 2-3-5 クロム酸による応力腐食割れ試験後の外観

(4) 小括

クロム酸煮沸による SCC 試験では、割れは発生しなかったことから、製品として問題ないと判断できる。

最終章

高強度アルミニウム合金を車体部品を中心に応用できるようにすることは、環境対策として進められている自動車、オートバイ等の乗り物のEV化にとって必要な車体の軽量に大きな貢献ができる。そのために本事業を活用して塑性加工の一つであるハイドロフォーミング技術の高度化に挑戦してきた。諸般の事情で色々と制約された条件下での活動であったが、以下の成果を上げることができた。

①新たなプロセスによるハイドロフォーミング加工技術の実用化に目途が付けられた。

これまで成形工程の後工程であったアルミニウム合金の溶体化処理を成形工程の前に行い、後工程のハイドロフォーミングと連続した工程とすることが可能であることが判った。

②溶体化処理はこれまでバッチ式熱処理炉で行ってきた長時間処理でなくとも、極めて短時間で処理が可能であることが判った。

③従って、生産リードタイムの短縮およびCO₂削減につながる省エネ効果およびコスト削減効果が期待できる。

④また、新プロセスのもたらし、例えば従来のバッチ式熱処理に比して1個流しによる溶体化処理が、熱処理品質の向上と安定性をもたらし、短時間の溶体化処理による熱歪の軽減等の効果も期待できることが分かった。

今後は、アルミの溶接技術との組み合わせでアッセンブリー製品としての展開を研究していくことで、実用化の可能性を広げていく必要がある。