

核融合炉構造材料の標準化活動における
材料溶接データベースの拡充

仕様書

令和7年4月

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構
六ヶ所フュージョンエネルギー研究所
核融合炉材料研究開発部
核融合炉構造材料開発グループ

1. 一般仕様

1.1. 件名

核融合炉構造材料の標準化活動における材料溶接データベースの拡充

1.2. 目的

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構（以下「量研」という。）は、原型炉開発支援活動の一環として、核融合炉の最有力な構造材料の標準化のために必要なデータベースの拡充を実施している。本仕様書では、種々の低放射化フェライト鋼を対象に、材料溶接データベースの拡充について定める。

1.3. 契約範囲

- 1) 核融合炉構造材料の標準化活動における材料溶接データベースの拡充：
1式
- 2) 提出図書の作成：
1式

1.4. 貸与品及び支給品

1.4.1. 貸与品

なし。

1.4.2. 支給品

以下に示す材料を支給する。受取りは受注者の責で実施すること。

- 1) F82H鋼スラブ（IG24、概寸t150mm×W420mm×L1500mm）1個
- 2) 溶接ワイヤ（主要寸法：外径1.2mm、ボビン巻き、12.5kg/巻） 必要量

1.5. 納入物

- 1) 表1.1に示す図書を指定された時期に指定部数、1.7項の納入場所に納入すること。
- 2) 提出図書は指定部数の冊子体の他に電子版を提出すること。表1.1に示す図書を格納した電子媒体も提出すること。電子版のファイル形式は量研と受注者協議の上、決定するものとする。
- 3) 試験済み試験体及び残材はすべて返却すること。

表 1.1 提出図書

図書名	提出時期	部数	確認
作業体制及び工程表	契約後速やかに	1部	要
品質計画書	契約後速やかに	1部	要
再委託承諾願 (量研指定様式)	作業開始2週間前まで ※下請負等がある場合に提出のこと。	1部	要
作業要領書	契約後速やかに	1部	要
試験検査要領書	試験検査開始2週間前まで	1部	要
試験検査成績書	出荷2週間前まで	1部	要
打合せ議事録	打合せ後1週間以内	1部	要
作業報告書（校正記録含む）	納入時	1部	要
その他量研が必要と認めた図書	随時	必要部数	
上記納入図書の電子ファイル	納入時	1部	不要

1.6. 納期

令和7年11月28日

1.7. 納入場所

量研 六ヶ所フュージョンエネルギー研究所 管理研究棟

1.8. 検査条件

1.5 項に示す納入物の内容確認をもって検査合格とする。実施時期及び判定基準は以下の通りとする。

時期：納入時

判定基準：報告書の記載内容が第2章に定める技術仕様を満足していること。

1.9. 保証

第2章の技術仕様に定める仕様及び機能要求を満足すること。

1.10. 品質保証

ISO9001-2015に定める品質保証と同等の品質保証により、本仕様書に定められた作業を行うこと。

1.11. 機密保持

受注者は本業務の実施に当たり、知り得た情報を厳密に管理し、本業務遂行以外の目的で、受注者及び下請会社等の作業員を除く第三者への開示、提供を行ってはならない。

1.12. グリーン購入法の促進

- 1) 本契約において、グリーン購入法(国等による環境物品等の調達の推進等に関する法律)に適用する環境物品(事務用品、OA機器等)が発生する場合は、これを採用するものとする。
- 2) 本仕様に定める提出図書(納入印刷物)については、グリーン購入法の基本方針に定める「紙類」の基準を満たしたものであること。

1.13. 工程管理

本件の履行に当たり、作業の工程表を作成する。提出図書の提出日及び確認までに必要な最大日数も記載すること。工程表のファイル形式は量研と受注者が協議の上、決定するものとする。工程表を変更する必要がある場合は、改訂版を提出し、量研の確認を得ること。工程の遅延が発生する可能性があると受注者が判断した場合は、直ちに量研に報告し、遅延を解消するための対策を提案すること。

1.14. 協議

本仕様書に記載されている事項及び本仕様書に記載のない事項について疑義が生じた場合は、量研と協議の上、その決定に従うものとする。

2. 技術仕様

本技術仕様は、核融合炉構造材料の標準化活動における材料溶接データベースの拡充と付随する作業について定める。

2.1. 作業条件

2.1.1. 全体

- 受注者は、次項以降に示す要求事項を満足するように作業の仕様を指定する責任を負う。
- 核融合炉構造材料の標準化活動における材料溶接データベースの拡充は、以下に示す工程からなる。
 - 1) 支給品の引き取り
 - 2) 板材製作
 - 3) 溶接継手製作
 - 4) 特性評価
 - 5) 保管、梱包及び輸送
 - 6) 図書の作成

各工程の詳細は事項以降に示す。なお、全工程中で特別な取り扱いをする場合は、トレーサビリティの確保をするため、受注者はその内容を量研に報告しなければならない。

2.1.2. 参照規格

受注者は、次項以降に示す規格を参照すること。なお、受注者は量研の了解がある場合に限り、本仕様に記載された規格に変えて、それと同等の国内規格・国際規格を使用できるものとする。その場合、受注者が提案する他の国内規格及び国際規格と本仕様で記載された仕様との比較、同等性の評価及び証明を受注者が実施し、事前に量研の了承を得るものとする。

2.2. 核融合炉構造材料の標準化活動における材料溶接データベースの拡充

2.2.1. 支給品の引き取り

- 受注者の責で支給品を引き取ること。

2.2.2. 板材製作

(1) 板材製作

- 支給する鋼片（F82H スラブ）から、分断、熱間圧延等により、表 2.1 に示す板材を製作する。なお、製作する板材は黒皮付き、端部切り落としなしで構わないものとする。
- 製作した板材には熱処理を施すものとし、その参考条件は焼きならし $1040 \pm 25^{\circ}\text{C}$ で 40 分、焼き戻し $750 \pm 10^{\circ}\text{C}$ で 1 時間とする。本作業のため、製作した板材をあらかじめ分断しても良いものとする。
- 詳細については、量研と受注者と協議の上、その決定に従うものとする。

表 2.1 低放射化フェライト鋼 F82H 板材

ロット	形状	概寸	数量
IG24-P1	板	長さ500mm以上×幅200mm×厚さ12～14mm	9
IG24-P3	板	長さ500mm以上×幅200mm×厚さ30mm	9

(2) 試験検査

- 製作した板材について、表 2.2 に示す試験検査を実施することとし、すべての強度試験片はトップ部の先端から板厚以上離れた位置で、かつ、板の 1/4 幅の位置から採取されなければならない。詳細については、量研と受注者と協議の上、その決定に従うものとする。

表 2.2 試験検査区分

部材	非破壊 検査	引張 試験	衝撃 試験	金相 試験	非金属介 在物試験	硬さ 試験	外観 検査	寸法 検査
IG24-P1	◎	○	○ (1/2tのみ)	○	○	○	◎	◎
IG24-P3	◎	○	○ (表面及び内部)	○	○	○	◎	◎

◎：全数検査、○：抜き取り検査（各ロット×1 式）

- 1) 非破壊検査：EN 10160（クラス S2 及び E3）、ISO 17577（クラス B3 及び E3）又は JIS G 801 を参照し超音波探傷試験を行うこと。
- 2) 引張試験：製作した板材について、表 2.3 に示す引張試験を行うこと。

なお、試験片長手方向は圧延方向に垂直とする。試験片は 1/2t の深さから採取するものとする。標準試験片は $\phi 10\text{mm}$ の丸棒試験片とするが、薄肉材についてはその限りではない。応力-ひずみ線図（電子データ）を提出すること。

表 2.3 引張試験の概要

試験温度	数量	測定項目	参照規格
室温	各3	引張強さ	ISO 6892-1（又はJIS Z 2241） ISO 6892-2（又はJIS G 0567）
450℃	各3	0.2%耐力	
550℃	各3	一様伸び 全伸び 絞り	

- 3) 衝撃試験：表 2.4 に示すシャルピー衝撃試験を行うこと。なお、いずれの試験片においても、V ノッチの方向は圧延方向に垂直とする。各試験片は表面及び 1/2t の位置から採取するものとする。

表 2.4 シャルピー衝撃試験の概要

試験温度	試験片形状	数量	測定項目	参照規格
0℃	10mm×10mm	各3	吸収エネルギー	ISO 148-1
-20℃		各3		ISO 148-2
20℃		各3		ISO 148-3

- 4) 金相試験：ISO 643 を参照し、金相試験及び結晶粒度評価を行うこと。試験片は引張試験片近傍から 1/2t の深さから採取することとし、観察方向は図 2.1 に示す 3 方向（圧延方向とそれに直角な 2 方向）とする。エッチング液にはピクリン酸を用いること。観察倍率は、原則、100 倍及び 400 倍とし、各 5 視野観察すること。粒度番号評価は、それぞれの面について 100 倍の 5 視野の測定の平均をもって求めること。報告書には、適用した研磨・エッチング方法等の詳細について記載すること。

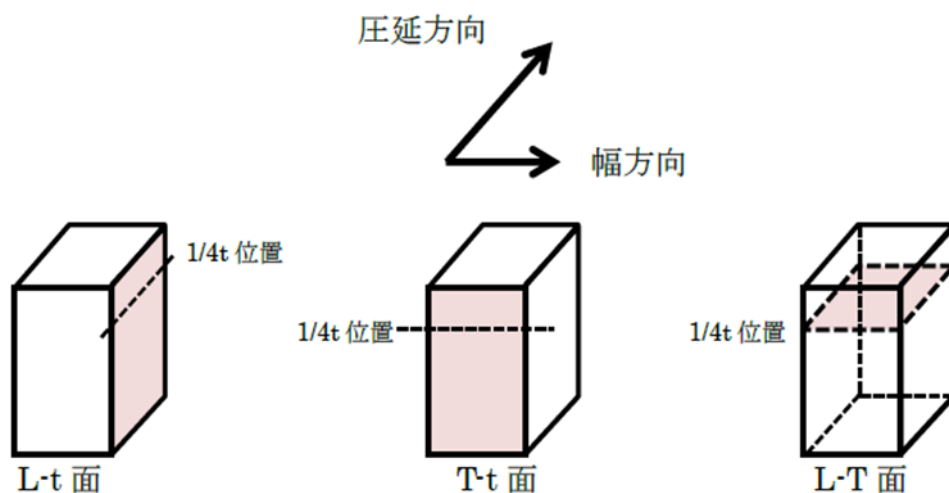


図 2.1 金相試験測定位置（測定面：ハッチ部分、1/4t の例）

- 5) 非金属介在物試験：ASTM E45 (Method D) を参照し、非金属介在物の評価を行うこと。試験片は引張試験片近傍から採取することとし、観察位置は L-t 断面の $1/2t$ の深さとする。報告書には、適用した方法等を記載すること。
- 6) 硬さ試験：ISO 6507 を参照し硬さ試験を行うこと。測定は引張試験片近傍の任意の一面（L-t 断面）とし、 $1/2t$ の深さにおいて、各 5 点試験を行うこと。
- 7) 外観検査：外観検査を実施すること。表面が滑らかで、使用上有害な欠陥がないことを確認すること。
- 8) 寸法検査：主要寸法の計測を実施すること。

2.2.3. 溶接継手製作

(1) 溶接継手製作

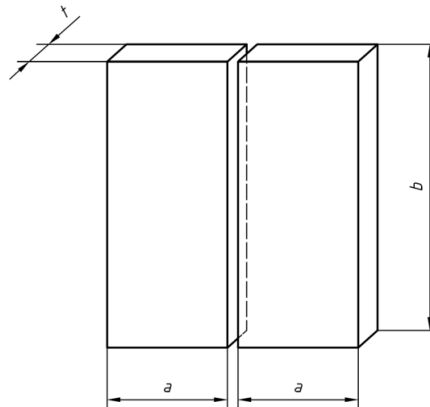
- 支給する溶接ワイヤ（表 2.5）を用いて、ティグ溶接により厚さの異なる 2 種類の継手を各 4 個製作すること。なお、製作した板材（IG24-P1 及び IG24-P3）を使用する。この板材は、面加工と長辺に開先加工を予め施すものとし、その形状及び寸法は図 2.2 に示す要件を満足する必要がある。主要寸法は a =約 150mm、 t =約 10mm（IG24-P1）、約 20mm（IG24-P3）とし、 b は 350mm 以上の範囲で受注者が決定できるものとし、複数の継手を製作しても良い。ただし、製作する継手の総有効長（始点・終点を除く）は 1600mm とする。溶接姿勢は PA（下向

き) とする。

- 継手の製作条件の詳細は、予備溶接試験に基づき、溶接施工要領に定めること。ただし、過去に同条件での施工実績がある場合は、量研がその内容を妥当と判断した場合に限り、予備溶接試験を省略できるものとする。なお、予備溶接試験に必要な検査は受注者の判断で実施すること。また、予備溶接試験の結果、継手の試作に関する技術的な問題が生じた場合は、量研と協議の上、その決定に従うものとする。
- 作業報告書には、溶接条件(電流、電圧及び送り速度)を記載すること。詳細は量研と受注者と協議の上、その決定に従うものとする。

表2.5 溶接ワイヤの化学組成 (単位wt%)

元素	成分	元素	成分
C	0.065	P	<0.005
Si	0.10	S	<0.0005
Mn	0.49	Ti	<0.001
Cr	7.50	Cu	<0.01
W	2.00	Ni	<0.01
V	0.17	Mo	<0.01
Ta	0.02	Nb	<0.001
B	<0.0001	Co	<0.001
N	0.0067	Ag	<0.001
Fe	Bal.	Sn	<0.001
Al	<0.01	As	<0.001
O	0.0043	Sb	<0.0005



Ref. No.	Material thickness t mm	Type of preparation	Symbol (in accordance with ISO 2553(II))	Cross-section	Dimensions				Weld illustration	Remarks
					Angle ^a α, β	Gap ^b b mm	Thickness of root face c mm	Depth of preparation h mm		
1.5	$5 \leq t \leq 40$	Single-V preparation with broad root face	Y		$\alpha \approx 60^\circ$	$1 \leq b \leq 4$	$2 \leq c \leq 4$	—		—

図 2.2 溶接継手の形状及び寸法要件 (NF EN ISO 9692-1)

(2) 非破壊検査

- 製作した継手（本溶接）ごとに非破壊検査（超音波探傷検査及び放射線透過試験）を実施すること。使用上有害な欠陥がないことを確認すること。詳細は量研と受注者と協議の上、その決定に従うものとする。

(3) 溶接後熱処理

- 製作した継手（本溶接）ごとに、 $720^\circ\text{C} +15^\circ\text{C}/-0^\circ\text{C}$ 、1h の溶接後熱処理を施すこと。詳細は量研と受注者と協議の上、その決定に従うものとする。

(4) 外観検査

- 製作した継手（本溶接）ごとに外観検査を実施すること。使用上有害な欠陥や反りがないことを確認すること。

2.2.4. 特性評価

- 製作した F82H 継手（ t =約 10mm 及び約 20mm の 2 種類）から、作

業に必要な試験片を製作する。製作に当たっては、試験片に対し熱影響加工の影響が残存しないよう留意すること。試験片の製作方法は、次項以降に規定する試験規格に基づくこと。本件において使用する試験片の数量を表 2.6 に示す。試験片は刻印等を用いて、識別可能にすること。

表 2.6 試験片数量

部材	丸棒 引張	継手板 引張	曲げ	衝撃	金相 観察	化学組成 分析
F82H継手（溶金部）	各3	0	0	各6	全数	各1
F82H継手（継手部）	各3	各1	各2	各6		0
F82H継手（母材部）	各5	0	0	各9		0

- 1) 丸棒引張試験：表 2.7 に示す引張試験を行うこと。引張試験片はφ10mm の丸棒試験片（図 2.3）とするが、薄肉材についてはその限りではない。応力-ひずみ線図（電子データ）を提出すること。

表 2.7 引張試験の概要

試験片長手方向	試験温度	試験片形状	数量	測定項目	参照規格基準
溶接線に平行 （溶金部）	室温	φ 10mm丸棒	1	引張強さ 0.2%耐力 一様伸び 全伸び 絞り 破断位置	ISO 5178 ISO 6892-1 （又はJIS Z 2241） ISO 6892-2 （又はJIS G 0567）
	450℃	φ 10mm丸棒	2		
溶接線に垂直 （継手部）	室温	φ 10mm丸棒	1		
	450℃	φ 10mm丸棒	2		
圧延方向に垂直 （熱処理済板材）	室温	φ 10mm丸棒	1		
	450℃	φ 10mm丸棒	2		
	550℃	φ 10mm丸棒	2		

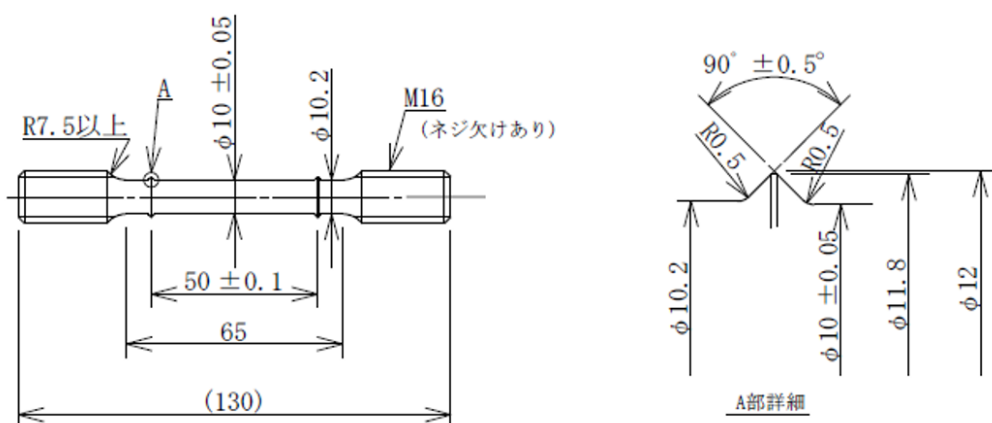


図 2.3 引張試験片

- 2) 継手板引張試験：ISO 4136（または JIS Z 3121）に従い、室温にて継手板引張試験（1 回）を行うこと。継手板引張試験片を図 2.4 に示す。

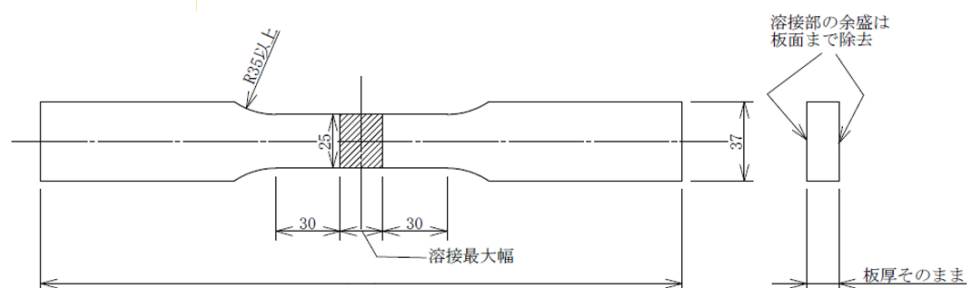


図 2.4 継手板引張試験片

- 3) 曲げ試験：ISO 5173（又は JIS Z 3122）に従い、室温にて曲げ試験（表曲げ及び裏曲げについて各 1 回）を行うこと。曲げ試験片を図 2.5 に示す（試験片幅は 40～60mm の範囲で決定することができる。）。

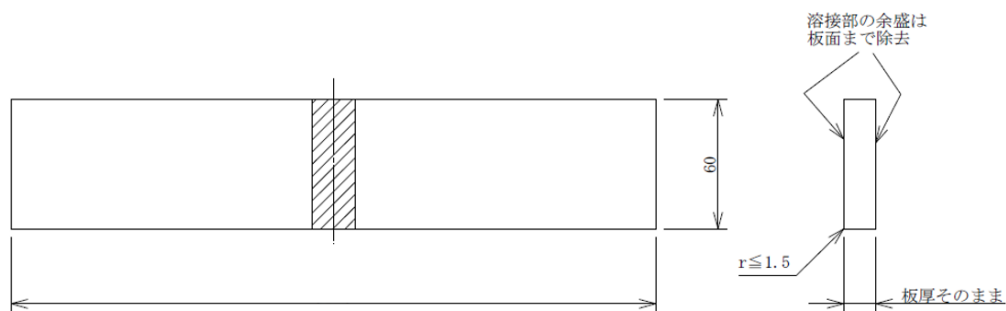


図 2.5 曲げ試験片（幅 60mm の例）

- 4) 衝撃試験：F82H 継手（継手部）のうち、溶金部、熱影響（HAZ）部、母材部に着目して、表 2.8 に示すシャルピー衝撃試験を行うこと。シャルピー衝撃試験片を図 2.6 に示すが、薄肉材についてはその限りではない。また、シャルピー衝撃試験片の採取要領を図 2.7 に示す。

表 2.8 シャルピー衝撃試験の概要

試験部	試験温度	試験片形状	数量	測定項目	参照規格
溶金部	0℃	10mm×10mm	3	吸収エネルギー	ISO 9016（又はJIS Z 3128） ISO 148-1（又はJIS Z 2242） ISO 148-2（又はJIS B 7722） ISO 148-3（又はJIS B 7740）
	-20℃		3		
HAZ部	0℃		3		
	-20℃		3		
母材部	0℃		3		
	-20℃		3		
	20℃		3		

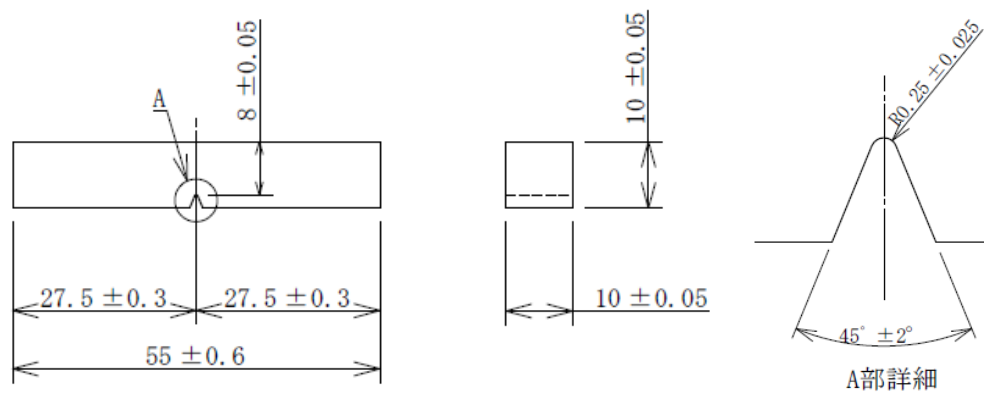


図 2.6 シャルピー衝撃試験片

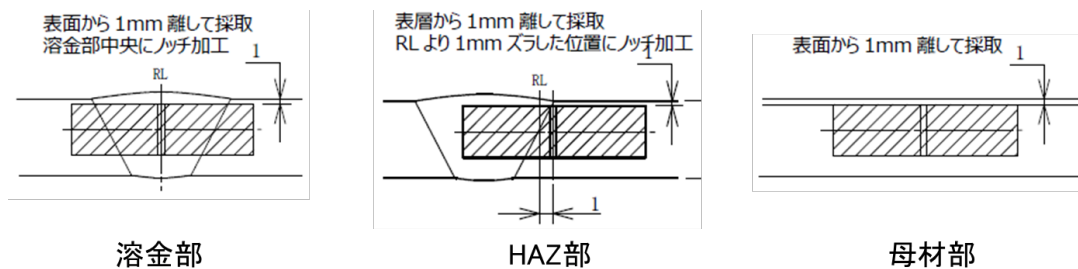


図 2.7 シャルピー衝撃試験片の採取要領

- 5) 金相観察：ISO 17639 に従い、マクロ及びミクロ（観察倍率 200 倍）金相観察を行うこと。ミクロ組織は溶金部、HAZ 部、母材部の 3 視

野を観察対象とする。作業報告書には、適用した研磨・エッチング方法等の詳細について記載すること。

- 6) 化学組成分析：表 2.5 に示す全ての元素を対象に化学組成分析を実施行うこと。その際、基準値との比較ができる測定精度の計測方法を適用すること。サンプルは引張試験片の端部から採取し、溶接金属部とすること。報告書には、適用した分析方法を記載すること。

2.2.5. 保管、梱包及び輸送

- 製作した板材及び F82H 鋼材の残材は、清浄度を保ち保管し、考えられる全ての損傷を防ぐように適切に個別に梱包し、納品場所まで受注者の責任で輸送すること。また、梱包材外側には識別情報を明記すること。

2.2.6. 提出図書の作成

- 受注者は、核融合炉構造材料の標準化活動における材料強度データベースの拡充に関して表 1.1 に示す図書を提出すること。
 - 1) 作業要領書：全ての作業行程について、その内容を詳述した図書を作成すること。本図書は、製作開始前に量研の確認を得ること。
 - 2) 試験検査要領書：本仕様に記した全試験検査に適用する規格において要求されている項目に加え、下記の全ての項目をそれぞれの試験検査に関して、試験検査要領書に記すこと。
 - ☆ 試験検査手順及び方法、試験機器の較正（又は校正）の方法。
 - ☆ 試験位置、試験片個数、その他必要な情報。
 - ☆ 検査記録シートのサンプル、合否基準。
 - 3) 試験検査成績書：全試験検査を実施し、試験検査の適用規格にて要求されている項目に加え、下記の全ての項目をそれぞれの試験検査に関して、試験検査成績書に記すこと。なお、量研フォーマットの「Conformity of Material」のシートを試験検査成績書の表紙に添付すること。また、使用した検査機器の校正記録を、「Traceability of Material」と題して、試験検査成績書の巻末に Appendix-1 として含めて提出すること。これらの図書は、製品出荷の 2 週間前までに量研の確認を得ること。試験検査成績書には、製作部門とは独立した部署

が発行した品質保証の認証を添付すること。

- ✧ 試験検査手順、試験機器及びその較正（又は校正）証明書。
- ✧ 試験部位、識別コード、試験片個数、その他必要な情報。
- ✧ 検査記録、合否判定基準（目標値も含む）、合否判定結果。英文において、合格は「Accepted」、不合格は「Rejected」と表記を統一すること。
- ✧ 検査場所、検査担当者の氏名、認証者の署名。

- 4) 作業報告書：全ての作業内容について、その詳細を記す報告書を作成すること。記載内容の詳細については、量研と受注者と協議の上、その決定に従うものとする。

以上

選定理由書

1. 件名	核融合炉構造材料の標準化活動における材料溶接データベースの拡充
2. 選定事業者名	JFE テクノリサーチ株式会社
3. 目的・概要等	核融合炉構造材料開発グループでは、原型炉統合設計・技術検討活動の一環として、核融合炉構造材料である低放射化フェライト鋼の標準化に向けた特性評価を進めている。本件は、種々の低放射化フェライト鋼を対象に、材料溶接データベースの拡充を実施するものである。具体的には、支給する F82H スラブ鋼から異なる厚さの TIG 溶接継手を試作し、その強度特性を評価する。
4. 希望する適用条項	契約事務取扱細則第 29 条第 1 項第 1 号へ (研究開発、実験等の成果の連続性、接続性の確保のため、契約の相手方が一に限定されているとき)
5. 選定理由	材料の標準化に向けてはデータの信頼性評価のため、同一の調達仕様のもと、同一の技術・設備を用いて製作を行いデータのバラツキを評価する繰り返し性 (Repeatability) 確認と異なる技術・設備で製作を行いデータのバラツキを評価する再現性 (Reproducibility) 確認を行う必要がある。本件は、過去に JFE テクノリサーチ株式会社において TIG 溶接による継手の試作を行った「R04_RE-7789_特性評価用低放射化フェライト鋼 TIG 溶接継手試験体の製作」と同条件にて製作を行い、材料標準化に必要となる繰り返し性を評価するものである。本目的においては研究開発の連続性を確保するために、F82H の継手製作において同事業者による同じ技術・施設を適用することが必要不可欠である。 以上により、上記要件を満たす事業者は他に存在しないため、JFE テクノリサーチ株式会社を選定する。