

フェライト鋼板材の異材溶接及び物性試験

仕様書

1. 件名

フェライト鋼板材の異材溶接及び物性試験

2. 目的及び概要

日本原子力研究開発機構（以下「機構」と言う。）では、放射性廃棄物減容・有害度低減に有効な高速炉に必要な炉心構成要素の開発を進めている。その中で、燃料集合体のラップ管としてフェライト鋼を開発しており、その異材溶接技術開発も進めている。本件は、ラップ管の組成範囲を広げたフェライト鋼板材に対して、Ni 基フィラーを用いた TIG 溶接を実施し、溶接線近傍の δ -フェライト形成の有無等の確認を行う。また、異材溶接の設計に必要な溶接金属の物性値（熱膨張率、変態点）取得試験を実施するものである。

なお、本件は経産省受託事業「令和 5 年度高速炉実証炉開発事業（基盤整備と技術開発）」の一環として実施するものである。

3. 作業実施場所

受注者側施設

4. 納期

令和 8 年 3 月 13 日（金）

5. 作業内容

ラップ管用として開発している PNC-FMS の組成範囲を広げることを目的として作製したフェライト鋼板材を用いて、SUS316 板材との異材溶接試験を実施する。併せて、異材溶接部の設計に必要な溶接金属部及び母材部の物性値（熱膨張率、縦弾性係数、変態点）を測定する。

5.1 支給品について

第 6 項に示すフェライト鋼 5 鋼種、計 5 枚を支給する。各鋼種の組成を表 1 に示す。なお、フェライト鋼の最終熱処理条件は、いずれも $1050^{\circ}\text{C} \times 40\text{min} + 710^{\circ}\text{C} \times 40\text{min}$ で同一である。

5.2 異材接合について

(1) TIG 溶接

5.1 項に記載したフェライト鋼板材と受注者が用意する JIS SUS316 板材（ミルシート付き）を図 1 に示すように 5mm 厚さに機械加工する。Ni 基フィラーはインコネル Filler Metal 82 相当品のワイヤを使用する。ワイヤ径については、フィラー材料として過不足なく機能する径を選定すること。また、フェライト鋼と SUS316 の開先角度は 30 度とし、その他の加工条件については受注者が選定すること。

TIG 溶接条件は、受注者が準備する SUS316 等の板材を用いて選定し、報告書にて報告すること。過去に機構で実施した 3.4mm 厚さの異材溶接条件（例）を以下に示す。溶接条件は受注者が設定し、極端な垂れ込み等が無いように実施すること。本試験は溶接条件の最適化を目的とするものではないため、溶接及び以降の試験を実施出来ればよい。

➤ 過去の TIG 溶接条件（例）

- ✓ 開先条件 : 30° V (ギャップ 1.5mm)
- ✓ 溶接材料 : インコネル 82 相当 (TGS-70NCb) ワイヤ径 2.0mm
- ✓ パススケジュール : 2 層 (2 層とも同じ条件)
- ✓ 電流 : 80A
- ✓ 電圧 : 20V
- ✓ 溶接速度 : 1.0mm/sec (平均)
- ✓ シールドガス : Ar
- ✓ 流量 : トーチ側 5L/min, バック側 3L/min
- ✓ 電極材料 : 2%Th-W, φ 3.2mm

(2) 溶接まま材の金相・硬さ試験

5.2 項で異材溶接した溶接まま材の溶接継手断面を切り出して金相試験を実施し、全体のマクロ写真を取得する。FMS/溶接金属の溶融線近傍において、図 2 に示すような δ -フェライトの生成の有無を確認する。拡大写真はマクロ写真と対応させ、上中下の 3 箇所以上取得すること。

硬さ試験は、断面内の表面（溶接時のトーチ側）から板厚方向へ 0.5(上), 2.5(中), 4.5(下)mm の箇所を実施すること。また、横方向は溶融金属から各母材まで 0.4mm 間隔で硬さ分布を取得すること。方向の向きは溶接中心を 0、FMS 側をマイナス、316 側をプラスとし、熱影響部、溶接金属部、母材部の位置関係が分かるようにすること。硬さ試験は「ビッカース硬さ試験-試験方法[JIS Z 2244-1(2020)]」に準拠し、試験荷重は 500gf とする。

(3) 溶接後熱処理 (PWHT)

溶接後熱処理は、690°C×60min、炉冷を実施する。温度履歴については、記録(チャート等)を提出すること。

(4) PWHT 後の金相・硬さ試験

PWHT 後に溶接継手断面を切り出して金相試験を実施し、全体のマクロ写真を取得する。

硬さ試験は、断面内の表面（溶接時のトーチ側）から板厚方向へ 0.5(上), 2.5(中), 4.5(下)mm の箇所を実施すること。また、横方向は溶融金属から各母材まで 0.4mm 間隔で硬さ分布を取得すること。方向の向きは溶接中心を 0、FMS 側をマイナス、316 側をプラスとし、熱影響部、溶接金属部、母材部の位置関係が分かるようにすること。硬さ試験は「ビッカース硬さ試験-試験方法[JIS Z 2244-1(2020)]」に準拠し、試験荷重は 500gf とする。

5.3 物性試験について

以下に示す物性試験を実施する。溶接金属部は PWHT 後に加工を行うこととする。試験片形状は試験計画書に記載して機構担当者の確認を受けるとともに、試験報告書にも記載すること。

(1) 熱膨張測定

5 種類の溶接材の溶金部及び FMS 母材について実施する。SUS316 については同一材料を用いていることから、1 種類のみ実施することとする。(合計 11 測定)

熱膨張測定は、JIS R1618「ファインセラミックスの熱機械分析による熱膨張の測定方法」等に準じて、不活性ガスまたは真空中で室温(25°C)から 1100°C(±3°C)までの熱膨張曲線を連続測定す

ること。試験片形状は、 $\phi 3.5 \times L18$ mm 長さ等の円柱形状とし、昇温速度は $5^\circ\text{C}/\text{min}$ とする。

得られた熱膨張曲線から変態点 (Ac_1 及び Ac_3) を求めること。ただし、溶金部については、Ni 基フィラーを使用していることからオーステナイト相となっている可能性が高く、その場合は変態点が無いことの確認となる。

得られた熱膨張曲線を用いて、室温 (25°C) から $1100^\circ\text{C} (\pm 3^\circ\text{C})$ の熱膨張率を 50°C 間隔で求めること。また、室温を基準とした各温度での平均熱膨張係数を算出すること。

(2) 変態点測定

FMS 母材と溶金部の合計 10 測定実施する。

試験片形状は $\phi 3\text{mm} \times L9\text{mm}$ 等の円柱試験片とし、フォーマスター試験機を使用して AC_1 及び AC_3 点を測定する。昇温速度は、 500°C までを $10^\circ\text{C}/\text{sec}$ 、 500°C から 1100°C までを $5^\circ\text{C}/\text{min}$ とする。 1100°C で 5 分間保持後、冷却速度 $50^\circ\text{C}/\text{min}$ で冷却し、冷却速度 $50^\circ\text{C}/\text{min}$ での値として、 Ms 点も報告すること。

溶金部については、Ni 基フィラーを使用していることからオーステナイト相となっている可能性が高く、その場合は変態点が無いことの確認となる。

5.4 試験報告書の作成

5.1~5.3 項の内容の詳細を記載した試験報告書を 2 部作成する。

試験報告書には、試験データの他、試験ごとに該当する以下の項目を収録すること。

- (1) 試験片の形状及び寸法
- (2) 試験装置の製造業者及び型式
- (3) 試験荷重
- (4) 測定雰囲気を用いた気体の種類及び流量
- (5) 熱電対の種類
- (6) 標準試料の種類、形状と線膨張率のデータ及び熱膨張係数(出典を含む)
- (7) 熱膨張曲線(excel 形式で提出)
- (8) 各温度での熱膨張率及び平均熱膨張率の導出式
- (9) 試験片加工から各データ導出までの試験方法

5.5 その他

試験残材は識別して全て返却すること。

6. 支給品及び貸与品

(1) 支給品

フェライト鋼板材、下記 5 鋼種、計 5 枚

- 23WFK-LCr : $158\text{mm} \times 200\text{mm} \times 6.5\text{mm}$ 1 枚
- 23WFK-HC : $158\text{mm} \times 200\text{mm} \times 6.5\text{mm}$ 1 枚
- 23WFK-HC : $158\text{mm} \times 200\text{mm} \times 6.5\text{mm}$ 1 枚
- 23WFK-LMo : $158\text{mm} \times 200\text{mm} \times 6.5\text{mm}$ 1 枚
- 19FK-09 : $260\text{mm} \times 400\text{mm} \times 6.5\text{mm}$ 1 枚

(2)貸与品

なし

7. 提出図書

受注者は、次の図書を提出期限前までに遅延なく提出すること。

図書名	提出時期	部数	機構確認
(1) 試験計画書	試験開始前	2部	要
(2) 試験報告書	納入(検収)時	2部	要
(3) 試験報告書の電子情報 (電子記録データを含む)	納入(検収)時	1式	不要
(4) 打合せ議事録	実施後14日以内	1部	要
(5) 委任又は下請負届* (機構指定様式)	作業開始2週間前まで	1式	要
(6) その他	必要に応じて	1式	要

*) 下請け等がある場合に提出のこと。無い場合は、提出不要。

(提出場所)

日本原子力研究開発機構 大洗原子力工学研究所
燃料材料開発部 集合体試験課

8. 検収条件

第5項に示す作業内容が終了し、第6項に示す提出図書の完納をもって検収とする。

9. 検査員及び監督員

(検査員)

一般検査 管財担当課長

(監督員)

集合体試験課 課長、課員

10. 知的財産権

知的財産権の取扱いについては、別紙1「知的財産権特約条項」に定められたとおりとする。

11. グリーン購入法の推進

- (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) 本仕様で定める提出図書（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。

12. 協議

本仕様書の記載事項及び本仕様書に記載されていない事項について、疑義が生じた場合は、原子

力機構担当者と協議すること。また、その結果については、請負側において議事録を作成し、原子力側と請負側の双方で内容を確認すること。

表 1. フェライト鋼板材の組成 (wt%)

鋼種	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	W	V	Nb	N
23WFK-LCr	0.14	0.06	0.71	<0.005	0.0021	0.52	9.66	0.41	1.77	0.22	0.068	0.065
23WFK-HC	0.17	0.06	0.70	<0.005	0.0022	0.53	10.69	0.40	1.77	0.22	0.068	0.063
23WFK-LCrHC	0.17	0.06	0.71	<0.005	0.0018	0.53	9.68	0.40	1.77	0.22	0.066	0.064
23WFK-LMo	0.14	0.06	0.71	<0.005	0.0016	0.53	10.65	0.30	1.77	0.22	0.067	0.064
19FK-09	0.13	0.06	0.80	<0.005	0.0020	0.54	11.52	0.41	1.85	0.22	0.06	0.061

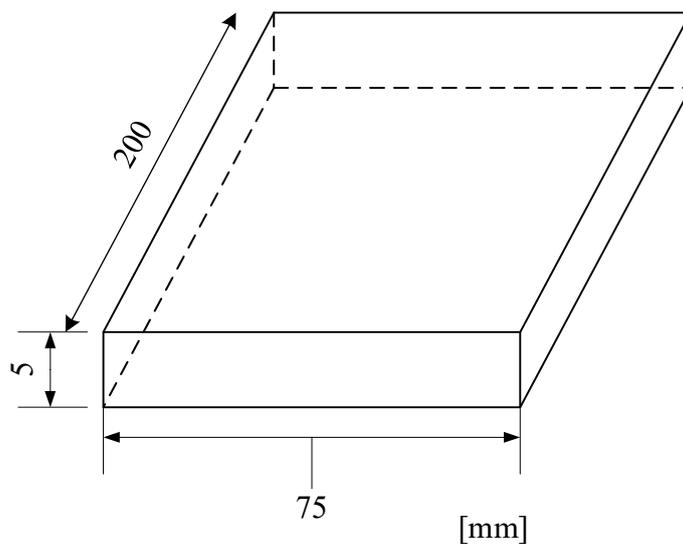
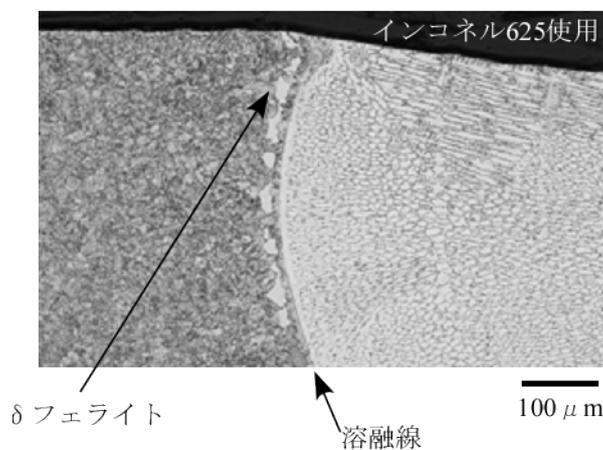


図 1. 板材の加工模式図



溶融線に沿って連続的に
δ-フェライトが形成する。

図 2. δフェライト組織の観察例

知的財産権特約条項

(知的財産権の範囲)

第1条 この特約条項において「知的財産権」とは、次の各号に掲げるものをいう。

- (1) 特許法(昭和34年法律第121号)に規定する特許権(以下「特許権」という。)、実用新案法(昭和34年法律第123号)に規定する実用新案権(以下「実用新案権」という。)、意匠法(昭和34年法律第125号)に規定する意匠権(以下「意匠権」という。)、半導体集積回路の回路配置に関する法律(昭和60年法律第43号)に規定する回路配置利用権(以下「回路配置利用権」という。)、種苗法(平成10年法律第83号)に規定する育成者権(以下「育成者権」という。)及び外国における上記各権利に相当する権利(以下「産業財産権等」と総称する。)
 - (2) 特許法に規定する特許を受ける権利、実用新案法に規定する実用新案登録を受ける権利、意匠法に規定する意匠登録を受ける権利、半導体集積回路の回路配置に関する法律第3条第1項に規定する回路配置利用権の設定の登録を受ける権利、種苗法第3条に規定する品種登録を受ける地位及び外国における上記各権利に相当する権利(以下「産業財産権等を受ける権利」と総称する。)
 - (3) 著作権法(昭和45年法律第48号)に規定するプログラムの著作物及びデータベースの著作物(以下「プログラム等」という。)の著作権並びに外国における上記各権利に相当する権利(以下「プログラム等の著作権」と総称する。)
 - (4) コンテンツの創造、保護及び活用の促進に関する法律(平成16年法律第81号)に規定するコンテンツで甲が本契約において制作を委託するコンテンツ(以下「コンテンツ」という。)の著作権(以下「コンテンツの著作権」という。)
 - (5) 前各号に掲げる権利の対象とならない技術情報のうち秘匿することが可能なものであって、かつ、財産的価値のあるものの中から、甲、乙協議の上、特に指定するもの(以下「ノウハウ」という。)を使用する権利
- 2 この特約条項において、「発明等」とは、特許権の対象となるものについては発明、実用新案権の対象となるものについては考案、意匠権、回路配置利用権及びプログラム等の著作権の対象となるものについては創作、育成者権の対象となるものについては育成並びにノウハウを使用する権利の対象となるものについては案出をいう。
- 3 この特約条項において知的財産権の「実施」とは、特許法第2条第3項に定める行為、実用新案法第2条第3項に定める行為、意匠法第2条第3項に定める行為、半導体集積回路の回路配置に関する法律第2条第3項に定める行為、種苗法第2条第5項に定める行為、プログラム等の著作権については著作権法第2条第1項第15号及び同項第19号に定める行為、コンテンツの著作権については著作権法第2条第1項第7の2号、第9の5号、第11号にいう翻案、第15号、第16号、第17

号、第18号及び第19号に定める行為並びにノウハウの使用をいう。

(乙が単独で行った発明等の知的財産権の帰属)

第2条 本契約に関して、乙単独で発明等を行ったときは、甲は、乙が次の各号のいずれの規定も遵守することを書面で甲に届け出た場合、当該発明等に係る知的財産権を乙から譲り受けないものとする。(以下、乙に単独に帰属する知的財産権を「単独知的財産権」という。)

- (1) 乙は、本契約に係る発明等を行ったときは、遅滞なく次条の規定により、甲にその旨を報告する。
- (2) 乙は、甲が国の要請に基づき公共の利益のために特に必要があるとして、その理由を明らかにして求める場合には、無償で当該知的財産権を実施する権利を国に許諾する。
- (3) 乙は、当該知的財産権を相当期間活用していないと認められ、かつ、当該知的財産権を相当期間活用していないことについて正当な理由が認められない場合において、甲が国の要請に基づき当該知的財産権の活用を促進するために特に必要があるとして、その理由を明らかにして求めるときは、当該知的財産権を実施する権利を第三者に許諾する。
- (4) 乙は、甲以外の第三者に委託業務の成果にかかる知的財産権の移転又は専用実施権(仮専用実施権を含む。)若しくは専用利用権の設定その他日本国内において排他的に実施する権利の設定若しくは移転の承諾(以下「専用実施権等の設定等」という。)をするときは、合併又は分割により移転する場合及び次のイからハまでに規定する場合を除き、あらかじめ甲に通知し、承認を受けなければならない。

イ 乙が株式会社である場合、乙がその子会社(会社法(平成17年法律第86号)第2条第3号に規定する子会社をいう。)又は親会社(同法第4号に規定する親会社をいう。)に移転又は専用実施権等の設定等をする場合

ロ 乙が承認TLO(大学等における技術に関する研究成果の民間事業者への移転の促進に関する法律(平成10年法律第52号)第4条第1項の承認を受けた者(同法第5条第1項の変更の承認を受けた者を含む。))又は認定TLO(同法第12条第1項又は同法第13条第1項の認定を受けた者)に移転又は専用実施権等の設定等をする場合

ハ 乙が技術研究組合である場合、乙がその組合員に移転又は専用実施権等の設定等をする場合

- 2 甲は、乙が前項に規定する書面を提出しない場合、乙から当該知的財産権を無償で(第7条に規定する費用を除く。)譲り受けるものとする。
- 3 乙は、第1項の書面を提出したにもかかわらず同項各号の規定のいずれかを満たしておらず、かつ満たしていないことについて正当な理由がないと甲が認める場合、当該知的財産権を無償で甲に譲り渡さなければならない。

(知的財産権の報告)

- 第3条 乙は、本契約に係る産業財産権等の出願又は申請をするときは、あらかじめ出願又は申請に際して提出すべき書類の写しを添えて甲に通知しなければならない。
- 2 乙は、前項に係る国内の特許出願、実用新案登録出願、意匠登録出願を行う場合は、特許法施行規則第23条第6項及び同規則様式26備考24等を参考にし、当該出願書類に国の委託事業に係る研究の成果による出願であることを表示しなければならない。
- 3 乙は、第1項に係る産業財産権等の出願又は申請に関して設定の登録等を受けた場合には、設定の登録等の日から30日以内に、甲に文書により通知しなければならない。
- 4 乙は、本契約に係るプログラム等又はコンテンツが得られた場合には、著作物が完成した日から30日以内に、甲に文書により通知しなければならない。
- 5 乙は、単独知的財産権を自ら実施したとき、及び第三者にその実施を許諾したとき(ただし、第5条第2項に規定する場合を除く。)は、甲に文書により通知しなければならない。

(単独知的財産権の移転)

- 第4条 乙は、単独知的財産権を甲以外の第三者に移転する場合には、当該移転を行う前に、その旨を甲に文書で提出し、承認を受けなければならない。ただし、合併又は分割により移転する場合及び第2条第1項第4号イからハまでに定める場合には、当該移転の事実を文書より甲に通知するものとする。
- 2 乙は、前項のいずれの場合にも、第2条、前条、次条及び第6条の規定を準用すること、並びに甲以外の者に当該知的財産権を移転するとき又は専用実施権等を設定等するときは、あらかじめ甲の承認を受けることを当該第三者と約定させ、かつ、第2条第1項に規定する書面を甲に提出させなければならない。

(単独知的財産権の実施許諾)

- 第5条 乙は、単独知的財産権について甲以外の第三者に実施を許諾する場合には、甲に文書により通知しなければならない。また、第2条の規定の適用に支障を与えないよう当該第三者と約定しなければならない。
- 2 乙は、単独知的財産権に関し、甲以外の第三者に専用実施権等の設定等を行う場合には、当該設定等を行う前に、文書により甲及び国の承認を受けなければならない。ただし、第2条第1項第4号イからハまでに定める場合には、当該専用実施権等設定の事実を文書により甲に通知するものとする。
- 3 甲は、単独知的財産権を無償で自ら試験又は研究のために実施することができる。甲が甲のために乙以外の第三者に製作させ、又は業務を代行する第三者に再実施権を許諾

する場合は、乙の承諾を得た上で許諾するものとし、その実施条件等は甲、乙協議の上決定する。

(単独知的財産権の放棄)

第6条 乙は、単独知的財産権を放棄する場合は、当該放棄を行う前に、その旨を甲に報告しなければならない。

(単独知的財産権の管理)

第7条 甲は、第2条第2項の規定により乙から単独知的財産権又は当該知的財産権を受ける権利を譲り受けたときは、乙に対し、乙が当該権利を譲り渡すときまでに負担した当該知的財産権の出願又は申請、審査請求及び権利の成立に係る登録までに必要な手続に要したすべての費用を支払うものとする。

(甲及び乙が共同で行った発明等の知的財産権の帰属)

第8条 本契約に関して、甲及び乙が共同で発明等を行ったときは、当該発明等に係る知的財産権は甲及び乙の共有とする。ただし、乙は、次の各号のいずれの規定も遵守することを書面で甲に届け出なければならない。(以下、甲と乙が共有する知的財産権を「共有知的財産権」という。)

- (1) 当該知的財産権の出願等権利の成立に係る登録までに必要な手続は乙が行い、第3条の規定により、甲にその旨を報告する。
 - (2) 乙は、甲が国の要請に基づき公共の利益のために特に必要があるとして、その理由を明らかにして求める場合には、無償で当該知的財産権を実施する権利を国に許諾する。
 - (3) 乙は、当該知的財産権を相当期間活用していないと認められ、かつ、当該知的財産権を相当期間活用していないことについて正当な理由が認められない場合において、甲が国の要請に基づき当該知的財産権の活用を促進するために特に必要があるとして、その理由を明らかにして求めるときは、当該知的財産権を実施する権利を第三者に許諾する。
- 2 甲は、乙が前項で規定する書面を提出しない場合、乙から当該知的財産権のうち乙が所有する部分が無償で譲り受けるものとする。
 - 3 乙は、第1項の書面を提出したにもかかわらず同項各号の規定のいずれかを満たしておらず、さらに満たしていないことについて正当な理由がないと甲が認める場合、当該知的財産権のうち乙が所有する部分が無償で甲に譲り渡さなければならない。

(共有知的財産権の移転)

第9条 甲及び乙は、共有知的財産権のうち自らが所有する部分を相手方以外の第三者に移転する場合には、当該移転を行う前に、その旨を相手方に通知して文書による同意を

得なければならない。

(共有知的財産権の実施許諾)

第10条 甲及び乙は、共有知的財産権について第三者に実施を許諾する場合には、あらかじめ相手方に通知して文書による同意を得なければならない。

(共有知的財産権の実施)

第11条 甲は、共有知的財産権を試験又は研究以外の目的に実施しないものとする。ただし、甲は甲のために乙以外の第三者に製作させ、又は業務を代行する第三者に実施許諾する場合は、無償で当該第三者に実施許諾することができるものとする。

2 乙が共有知的財産権について自ら商業的实施をするときは、甲が自ら商業的实施をしないことにかんがみ、乙の商業的实施の計画を勘案し、事前に実施料等について甲、乙協議の上、別途実施契約を締結するものとする。

(共有知的財産権の放棄)

第12条 甲及び乙は、共有知的財産権を放棄する場合は、当該放棄を行う前に、その旨を相手方に通知して文書による同意を得なければならない。

(共有知的財産権の管理)

第13条 共有知的財産権に係る出願等を甲、乙共同で行う場合、共同出願契約を締結するとともに、出願等権利の成立に係る登録までに必要な費用は、当該知的財産権に係る甲及び乙の持分に応じて負担するものとする。

(知的財産権の帰属の例外)

第14条 本契約の目的として作成される提出書類、プログラム等及びその他コンテンツ等の納品物に係る著作権は、すべて甲に帰属する。

2 第2条第2項及び第3項並びに第8条第2項及び第3項の規定により著作権を乙から甲に譲渡する場合、又は前項の納品物に係る著作権の場合において、当該著作物を乙が自ら創作したときは、乙は、著作者人格権を行使しないものとし、当該著作物を乙以外の第三者が創作したときは、乙は、当該第三者が著作者人格権を行使しないように必要な措置を講じるものとする。

(秘密の保持)

第15条 甲及び乙は、第2条及び第8条の発明等の内容を出願公開等により内容が公開される日まで他に漏えいしてはならない。ただし、あらかじめ書面により出願申請を行った者の了解を得た場合はこの限りではない。

(委任・下請負)

第16条 乙は、本契約の全部又は一部を第三者に委任し、又は請け負わせた場合においては、当該第三者に対して本特約条項の各条項の規定を準用するものとし、乙はこのために必要な措置を講じなければならない。

2 乙は、前項の当該第三者が本特約条項に定める事項に違反した場合には、甲に対し全ての責任を負うものとする。

(協議)

第17条 第2条及び第8条の場合において、単独若しくは共同の区別又は共同の範囲等について疑義が生じたときは、甲、乙協議して定めるものとする。

(有効期間)

第18条 本特約条項の有効期限は、本契約締結の日から当該知的財産権の消滅する日までとする。