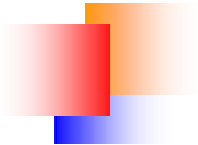


熱処理シミュレーションと 金属3Dプリンタによる 誘導加熱用銅製コイルの開発

TKE ティーケーエンジニアリング株式会社

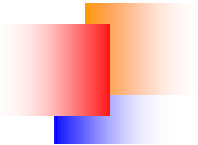
代表取締役社長 下村 豊

2023年1月26日（木） ナゴヤイノベーションズガレッジ



一 目 次

1. 会社紹介
2. 業務内容：高周波焼入れ
3. 金属3Dプリンターの選定・導入
4. 3Dプリンター造形コイルの優位性
5. 3Dプリンター造形コイルの品質
6. 造形事例（ハイブリッド造形含む）
7. CAE＋積層造形
8. 銅以外の造形



— 目 次 —

1. 会社紹介
2. 業務内容：高周波焼入れ
3. 金属3Dプリンターの選定・導入
4. 3Dプリンター造形コイルの優位性
5. 3Dプリンター造形コイルの品質
6. 造形事例（ハイブリッド造形含む）
7. CAE＋積層造形
8. 銅以外の造形

高雄工業(株)とティーケーエンジニアリング(株)の関係

高雄工業

愛知事業所

本社工場

海南工場

静岡事業所

岡山事業所

海外合併会社

北米：NTKプレジジョンアクスル(株)

北米：NTAプレジジョンアクスル(株)

タイ：NTPT(株)

ティーケーエンジニアリング(株)

瑞陵精機(株)

アタラシ製作所(株)

高雄工業より、
「設備開発部門」
「高周波開発部門」
「購買部門」が分社化された会社です。
※高雄工業の技術面を支える会社
となります。

Company Profile

会社名 Company Name	高雄工業株式会社 . TAKAO KOGYO CO.LTD
代表者 President&CEO	代表取締役社長 下村 豊 Yutaka Shimomura
会社設立 Founded	1974年10月1日 October 1st, 1974
資本金 Capital	9,800万円 98million yen
業種 Type of industry	輸送機機械器具及び精密機械部品製造, 金属加工業 Transportation machinery parts manufacturing, Precision machinery parts manufacturing, Metal processing industry
事業内容 Main business	等速ジョイント、ハブベアリング、精密産業機器部品 Constant Velocity Joints (CVJ), HUB Unit Bearings (HUB) , Precision Industrial machine parts

Global Map of TAKAO Kogyo

Technical Support North America

⑦NTN DRIVESHAFT ANDERSON, INC.
(Anderson Indiana)



5 6 7

Overseas J.V. Plant North America

⑤NTA PRECISION AXLE CORP.



⑥NTK PRECISION AXLE CORP.
(Frankfort Indiana)



Domestic Plants In Japan



等速ジョイントの旋削加工
(外輪・シャフト)
MCU軸加工



①愛知事業所・本社工場



ハブベアリング旋削・熱処理加工
産業機械用・大型車両等速ジョイントの旋削加工



②愛知事業所・海南工場



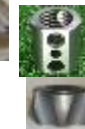
ハブベアリングの旋削・熱処理
等速ジョイントの旋削加工
治工具製作



③岡山事業所



等速ジョイントの外輪の旋削加工
トラクション軸の研削加工
PTJローラカセット研削～組立



④静岡事業所

Overseas J.V. Plant Thailand

⑧NTPT Company Limited



Technical Support China(Shanghai)

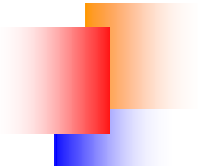
⑨上海NTN



TKE

ティーケーエンジニアリング株式会社

Company Profile



会社紹介

会社名 Company Name	ティーケーエンジニアリング株式会社 TKE Co.,Ltd.
代表者 President & CEO	代表取締役社長 下村 豊 Yutaka Shimomura
業務開始 Business start	2021年8月2日 August 2nd ,2021
資本金 Capital	3,000万円 30million yen
従業員数 Employees	75名 75 employees
事業内容 Main Business	金属3Dプリンターによる造形品の製造・販売 Manufacture and sales of modeled products using metal 3D printers 機械加工による部品、治工具の製造、販売 Manufacture and sales of machining parts, jigs and tools 省人化、自動化装置ならびに搬送装置の製造、販売 Manufacture and sales of Labor-saving, automated equipment and Material handling equipment 切削工具および特殊工具の仕入れ、販売 Purchasing and sales of cutting tools and special tools 工作機械・専用機械の保守・メンテナンス Maintenance of machine tools and dedicated machines

※ティーケーエンジニアリング(株)は高雄工業グループです TKE Co.,Ltd. belongs to TAKAO KOGYO Group.

ティーケーエンジニアリング 会社概要

所在地 本社

〒498-0066 愛知県弥富市楠3丁目13番地2号
TEL 0567-68-8110 FAX 0567-68-3331

愛知事務所（営業窓口）

〒490-1402 愛知県弥富市五斗山3丁目22番地
TEL 0567-56-4545 FAX 0567-52-0005

岡山事務所

〒709-2105 岡山県岡山市北区御津伊田1028番19
TEL 086-724-5330 FAX 086-724-5331

北陸営業所

〒920-0014 石川県金沢市諸江町1-15
TEL 076-222-7480 FAX 076-214-5420

ティーケーエンジニアリング 事業内容

■ 金属3Dプリンターによる受託造形



■ 保有3Dプリンター仕様

SLM280PS(SLM方式) 3台
[パウダーベッド方式・レーザービーム]

- 1 金属パウダーによる造形システム
- 2 銅パウダーによる高周波熱処理用加熱コイルの造形は多数実績有り
- 3 銅以外のアルミニウム・ステンレス・インコネル等も対応可

ティーケーエンジニアリング 事業内容

■工具・治具の販売

総合部品メーカーとして長く関わってきた加工技術のノウハウをフル活用。

高精度な工作機械や測定機器を多数保有し、ミクロンオーダーの加工公差を実現しています。
また3DCAD、CAEを駆使し先進的な治具設計を行い、短納期、低コストで高精度な治具製作を行っています。



ティーケーエンジニアリング 事業内容

■ 治具・ゲージ・測定器の製造販売



量産用 穴あけ治具



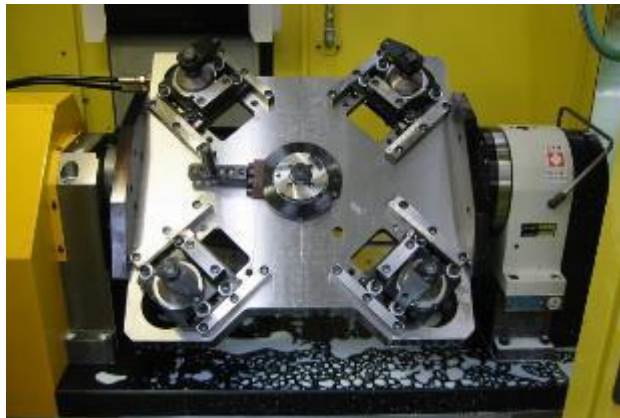
チャック爪



穴加工用 基準プレート



搬送ハンド 部品



マシニングセンター用 センタリング・インデックス治具



マシニングセンター用 4個取りインデックス治具

ティーケーエンジニアリング 事業内容

■省力・省人化装置(専用機)の設計・製作

さまざまな製造工程での自動化・省人化を推進するため現場状況にマッチした設備と経験を生かしてご提案し、設計・製作していきます。



【素材バラ積みピッキングシステム】



【全自動バリ取り・洗浄システム】



【バリ取り装置】

ティーケーエンジニアリング 事業内容

■工作機械・専用機械の保守・メンテナンス

経験豊富な技術スタッフが旋盤・マシニングセンター・研削盤などの修理・定期保全などの保守・メンテナンス業務に対応しています。



【定期保全：ユニット部品の
取り外し作業】



【取り外し部品の老朽化・摩耗状況
等の確認作業】



【キサゲ作業による精度回復】

第38回素形材産業技術賞 受賞

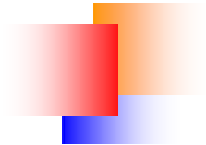
「素形材産業技術表彰委員会特別賞」を受賞しました!!

【熱処理シミュレーションと金属3Dプリンターによる誘導加熱用加熱コイルの開発】



開発代表者	ティーケーエンジニアリング株式会社	下村 豊
共同開発者	ティーケーエンジニアリング株式会社	清水稔彦
		河辺正臣
	愛知産業科学技術総合センター	加藤正樹
		梅田隼史
	愛知産業株式会社	近藤拓未

「11月8日～12月2日」の間、
経済産業省のエントランスホールにおいて、
技術紹介、及び造形品の展示が行われて
おります。



2022年度 公的活動

■ TRAFAM（技術研究組合次世代3D積層造形技術総合開発機構）

Technology Research Association for Future Additive Manufacturing; TRAFAM

世界最高水準の次世代型産業用3Dプリンタおよび超精密三次元造形システムを構築し、日本の新たなものづくり産業の創出を目指す団体

TRAFAMは、経済産業省よりNEDOが委託を受けて活動しているプロジェクト

※NEDO：国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

ティーケーエンジニアリングは、ユーザー実証事業に参画しています。

2022年度 公的活動

TRAFAM (技術研究組合次世代3D積層造形技術総合開発機構) 参画企業・団体



学校法人近畿大学



国立大学法人東北大学



国立研究開発法人
産業技術総合研究所



国立研究開発法人
宇宙航空研究開発機構



芝浦機械株式会社



株式会社先端力学
シミュレーション研究所



大同特殊鋼株式会社



多田電機株式会社



株式会社木村鋳造所



金属技術株式会社



株式会社金属積層造形
サポートシステム



群英化学工業株式会社



株式会社東芝



東洋アルミニウム株式会社



株式会社ニコン



日本積層造形株式会社



株式会社コイワイ



山陽特殊製鋼株式会社



株式会社C&Gシステムズ



シーメット株式会社



日本電子株式会社



福田金属粉末工業株式会社



株式会社松浦機械製作所



三菱重工業株式会社

2022年度 公的活動

TRAFAM (技術研究組合次世代3D積層造形技術総合開発機構) 賛助会員

SAKURA

櫻護謨株式会社

 **MITSUBISHI
ELECTRIC**
Changes for the Better

三菱電機株式会社

NewChallenge BestQuality
otc

株式会社大阪チタニウム
テクノロジーズ

JTEKT

株式会社ジェイテクト

 **YAMAHA**
Revs Your Heart

ヤマハ発動機株式会社

 **NAGASE**

ナガセ研磨機材株式会社

Swagelok

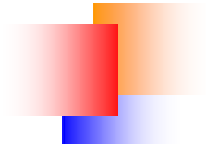
日本スウェーじロック
FST株式会社

TSC

東京産業株式会社

TKE
TAKAKU ENGINEERING

ティーケーエンジニアリング
株式会社
(入会 2022年5月)



2022年度 公的活動

■ 知の拠点あいち重点研究プロジェクトⅣ期

※公益財団法人科学技術交流財団が、愛知県からの委託により実施。

研究テーマ

「積層造形技術の深化によるモノづくり分野での価値創造と
イノベーション創出」

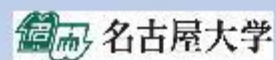
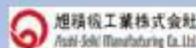
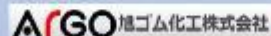
研究リーダー：名古屋大学大学院 教授 小橋 眞

事業化リーダー：ティーケーエンジニアリング(株) 代表取締役社長 下村 豊

■ 積層造形による素形材イノベーション研究会

主催：公益財団法人科学技術交流財団

知の拠点あいち重点研究プロジェクトIV期



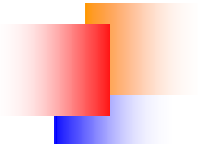
積層造形技術の深化による モノづくり分野での価値創 造とイノベーション創出

プロジェクト名： プロジェクト Core Industry

研究開発分野： 高効率加工・3Dプリンティング

研究リーダー： 名古屋大学大学院
教授 小橋 眞

事業化リーダー： ティーケーエンジニアリング(株)
代表取締役社長 下村 豊



— 目 次 —

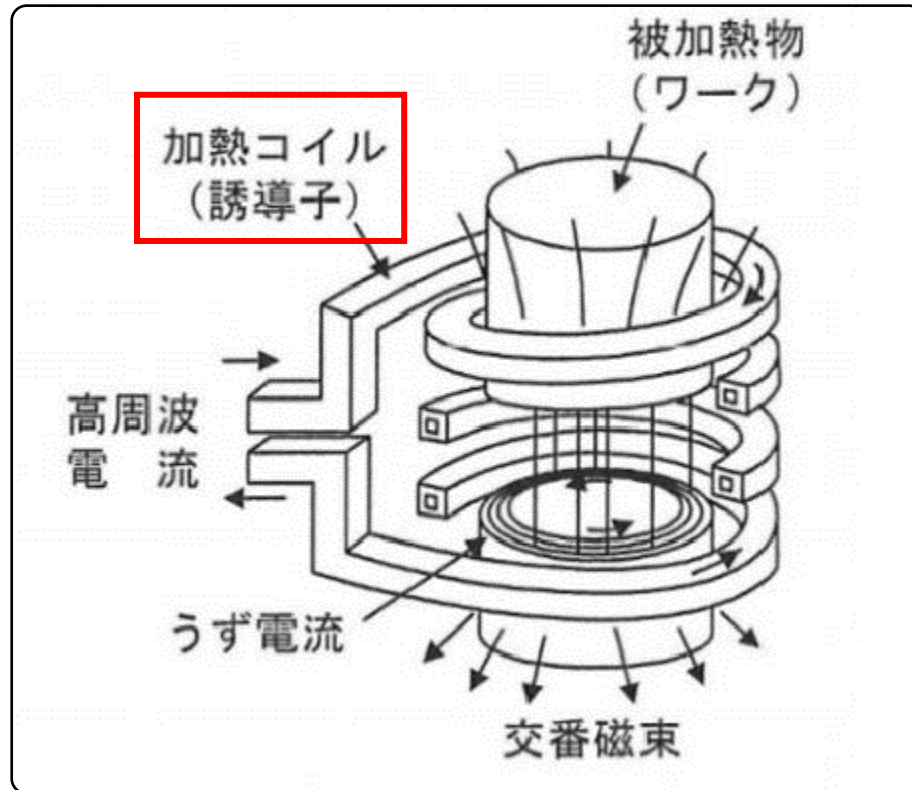
1. 会社紹介
- 2. 業務内容：高周波焼入れ**
3. 金属3Dプリンターの選定・導入
4. 3Dプリンター造形コイルの優位性
5. 3Dプリンター造形コイルの品質
6. 造形事例（ハイブリッド造形含む）
7. CAE＋積層造形
8. 銅以外の造形

業務内容

- ◇当社は、自動車の足回り部品であるハブベアリングを「**機械加工**」を約500万個/月、及び「**熱処理加工(高周波焼入れ・焼戻し)**」を行い約250万個生産しています。
- ◇**高周波焼入れ**において、**加熱コイル**は品質・コストの両面より重要なアイテムである。
コイル寿命が短いとスペアコイルへの交換が頻繁に発生し、都度品質確認が必要となる、また製品一個当たりの焼入れコストも増加する。
(焼入れコスト＝コイル価格／コイル寿命[製品焼入数])
- ◇**加熱コイル**は**銅**でできており、機械加工した銅部品を「**ろう付けで接合**」して組み立てている。
- ◇弊社では、**金属3Dプリンター**でのコイル製作を行い、品質・コスト面での改善に取り組むことに致しました。

高周波焼入れ

【高周波焼入れの原理】



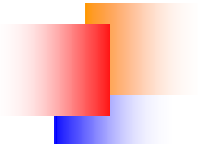
※熱処理技術入門(大河出版)より

【加熱時の状況】



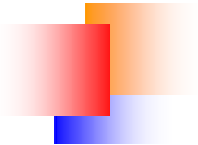
※富士電子工業殿 ホームページより

高周波焼入れ動画



目次

1. 会社紹介
2. 業務内容：高周波焼入れ
- 3. 金属3Dプリンターの選定・導入**
4. 3Dプリンター造形コイルの優位性
5. 3Dプリンター造形コイルの品質
6. 造形事例（ハイブリッド造形含む）
7. CAE＋積層造形
8. 銅以外の造形



金属 3 D プリンターの選定

P B F (Powder Bed Fusion) 方式の中でも特に
S L M (Selective Laser Melting) 方式を選定した。

S L M 方式は、

- ①精密な造形ができることより、複雑な形状をしている
加熱コイルの造形に適しており、
- ②又、面粗度、相対密度が良好である。
加熱コイルの内部水路に安定した流量を得ることができる。

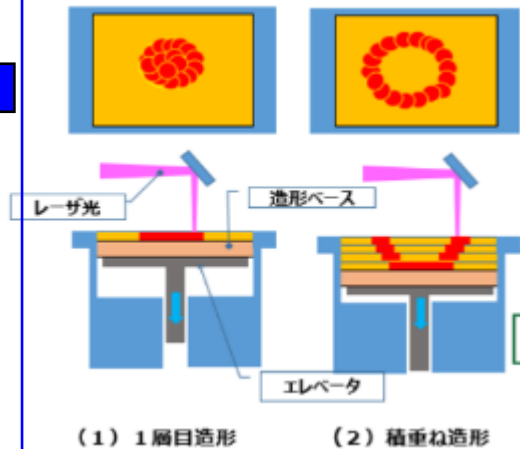
金属3Dプリンター：SLM280PS



パウダーベッド方式のイメージ



器状のものを
造形する場合



設備メーカー	SLM Solutions GmbH (独)
造形方式	パウダーベッド方式 レーザー溶融法：SLM方式 (Selective Laser Melting)
造形範囲	横280×奥行280×高さ365mm
レーザー出力	700W ファイバーレーザー×2基
可変層厚	20～100 μm
装置サイズ	横4150×奥行2900×高さ2500mm
オートマチックシービングシステム(自動ふるい機)	
双方向リコーターシステム	

造形室と造形事例

【造形室：SLM280PS 3台】

【造形品：加熱コイル・治具・他】



造形時動画



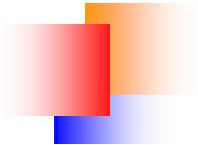
高雄工業株式会社
TAKAO KOGYO Co.,Ltd.

金属3Dプリンター導入経緯

2018年度		2019年度		2020年度		2021年度
4-9月	10-3月	4-9月	10-3月	4-9月	10-3月	4-9月
3Dプリンターでの可能性見極め		コイル性能試験 設備選定		【1号機導入】 受託加工開始		【2号機導入】
◇開発スタート ◇リング形状での造形試験⇒NG	◇リング形状での造形試験⇒合格 ◇イントロ展示会視察	◇コイル形状での造形試験 ◇熱処理品質・造形精度調査 ◇3Dプリンター造形コイル寿命試験	◇イントロ展示会視察 ◇(独)SLM社訪問	◇加熱コイル以外の銅部品造形もスタート	◇他社の加熱コイル・銅部品の造形	◇3Dプリンターコイルでの焼入れ製品について顧客による評価試験完了⇒合格[2021.7月] [寿命試験、静的強度/破壊試験]

2018年より「3Dプリンターでの加熱コイル製作」の検討を開始した。当時はSLM方式での銅の造形は、レーザーの吸収率の問題等で非常に難しいとされており、銅の中空リングの造形ですらうまくいかなかった。

2019年に加熱コイル形状の造形に成功した。更に、造形時期を変えた複数の加熱コイルでの再現性試験、また3万個連続焼入れでの加熱コイルの寸法変化調査・焼入れした製品の品質調査を行い、実用化への確信を持った。



金属 3 D プリンターの導入経緯

◇当社では、2020年7月に

金属 3 D プリンター (SLM280PS) を導入。

2021年7月に**2台目、**

2022年8月に**3台目**を導入。

4台目については、マルチマテリアルパウダー方式を検討中。

◇**加熱コイルを一体造形**で製作することにより、

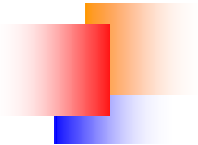
加熱コイルの最弱部である**ろう付けを無くし、**

コイル寿命の安定・向上を図り、

◇更に、金属 3 D プリンターでの造形により、

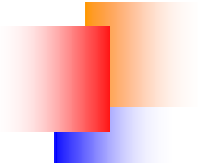
製作期間の短縮、設計自由度の向上も図ることが

可能となった。



目次

1. 会社紹介
2. 業務内容：高周波焼入れ
3. 金属3Dプリンターの選定・導入
4. **3Dプリンター造形コイルの優位性**
5. 3Dプリンター造形コイルの品質
6. 造形事例（ハイブリッド造形含む）
7. CAE＋積層造形
8. 銅以外の造形



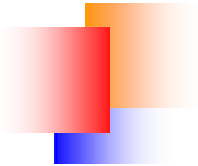
「3Dプリンターでの造形コイル」^{*1}の優位性

1. コイル品質(寿命)の安定・向上
2. コイル製作期間の短縮
3. コイルの最適設計

*1. 「3Dプリンターでの造形コイル」

以後、「AMコイル®」と呼ぶ

AM: Additive Manufacturing=付加製造・積層造形



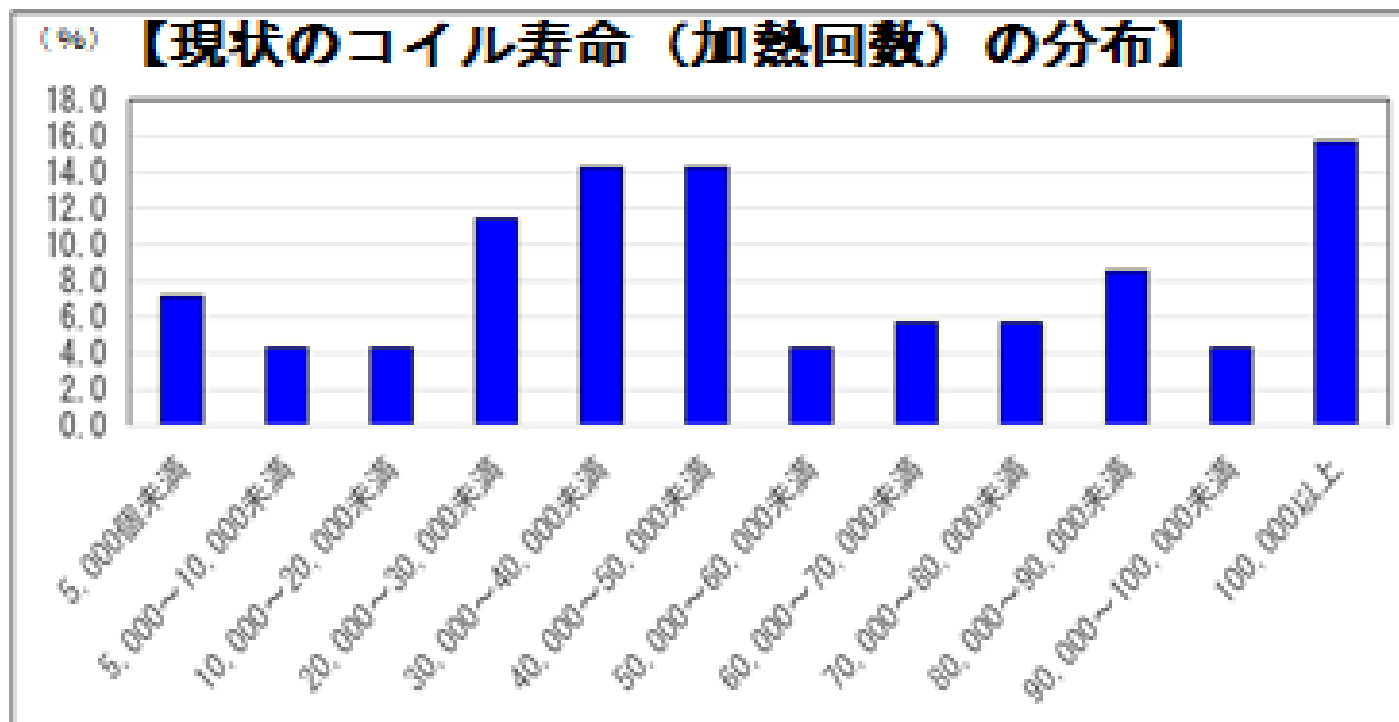
「AMコイル」の優位性

1. コイル品質(寿命)の安定・向上
2. コイル製作期間の短縮
3. コイルの最適設計

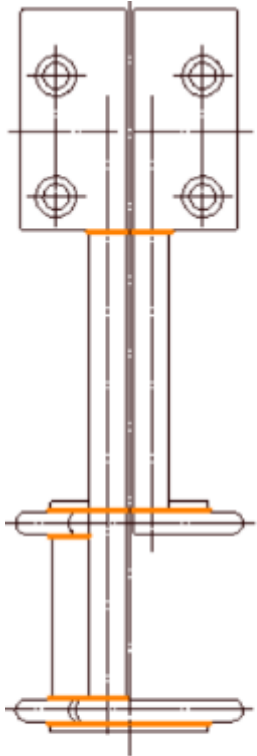
現状（ろう付けコイル）のコイル寿命

現状のろう付けコイル寿命の分布

⇒ 数千回～10万個以上とばらつきが大きい。



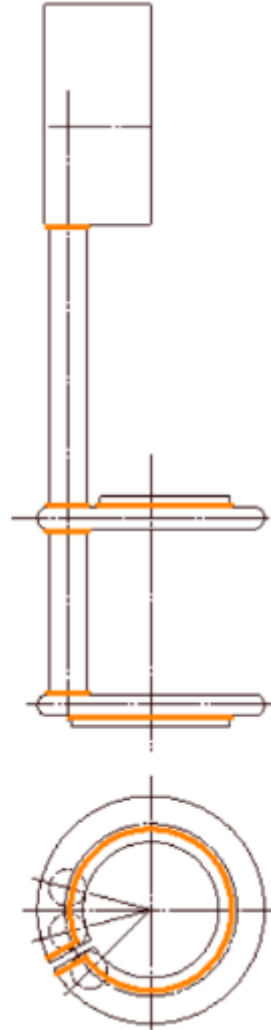
ろう付けコイルの破損形態



橙線部

=ろう付け部

※ろう付け箇所が
非常に多い



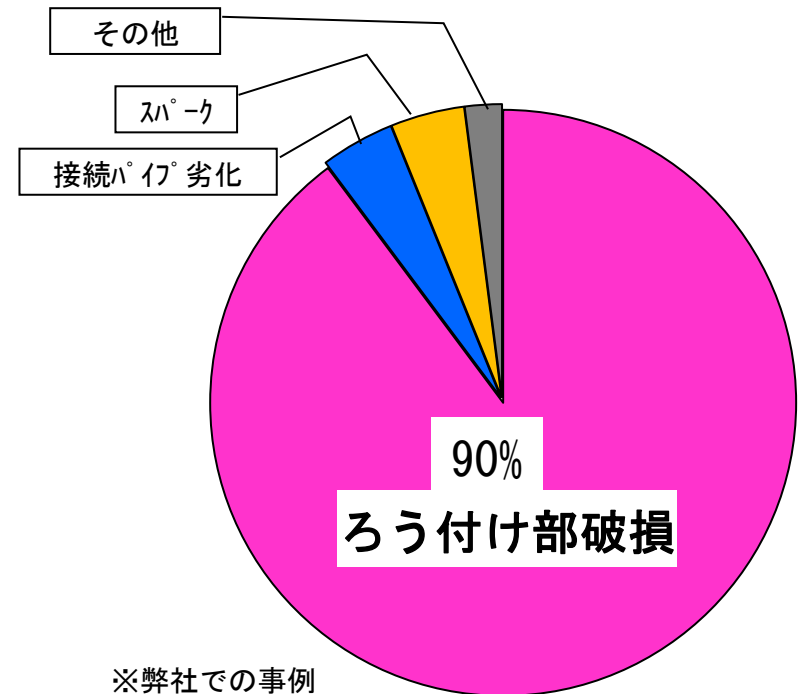
水漏れ部位



ろう付け部内面

加熱時にワークとの間で発生する磁界(反磁場)により変形を繰り返すことにより、「つなぎ部=ろう付け部」に応力が集中し、破損に至る

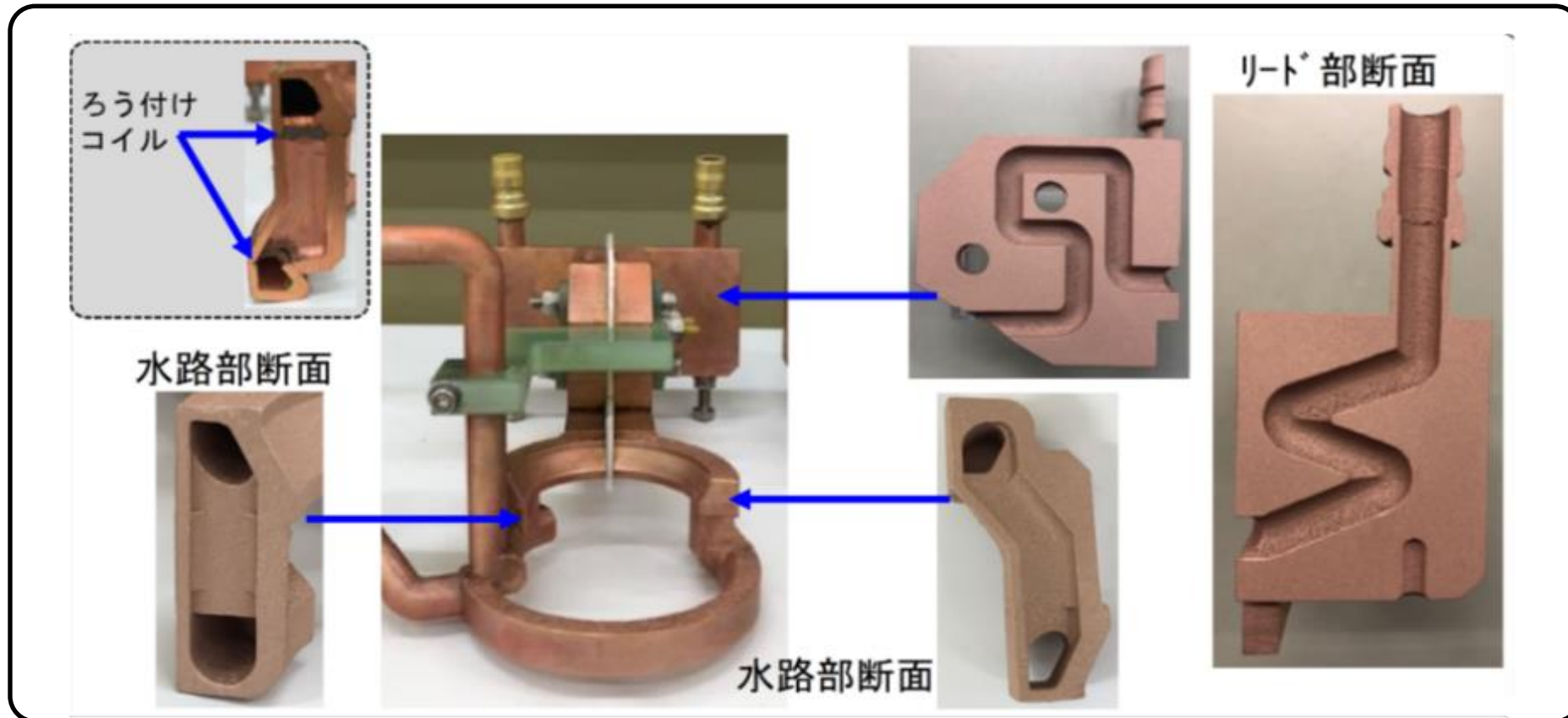
ろう付けコイル 破損部位

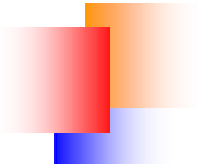


※弊社での事例

AMコイル=ろう付け無し

3Dプリンターを用いて一体造形で製作することにより、ろう付け部が無くなりコイル寿命の安定・向上につながる。



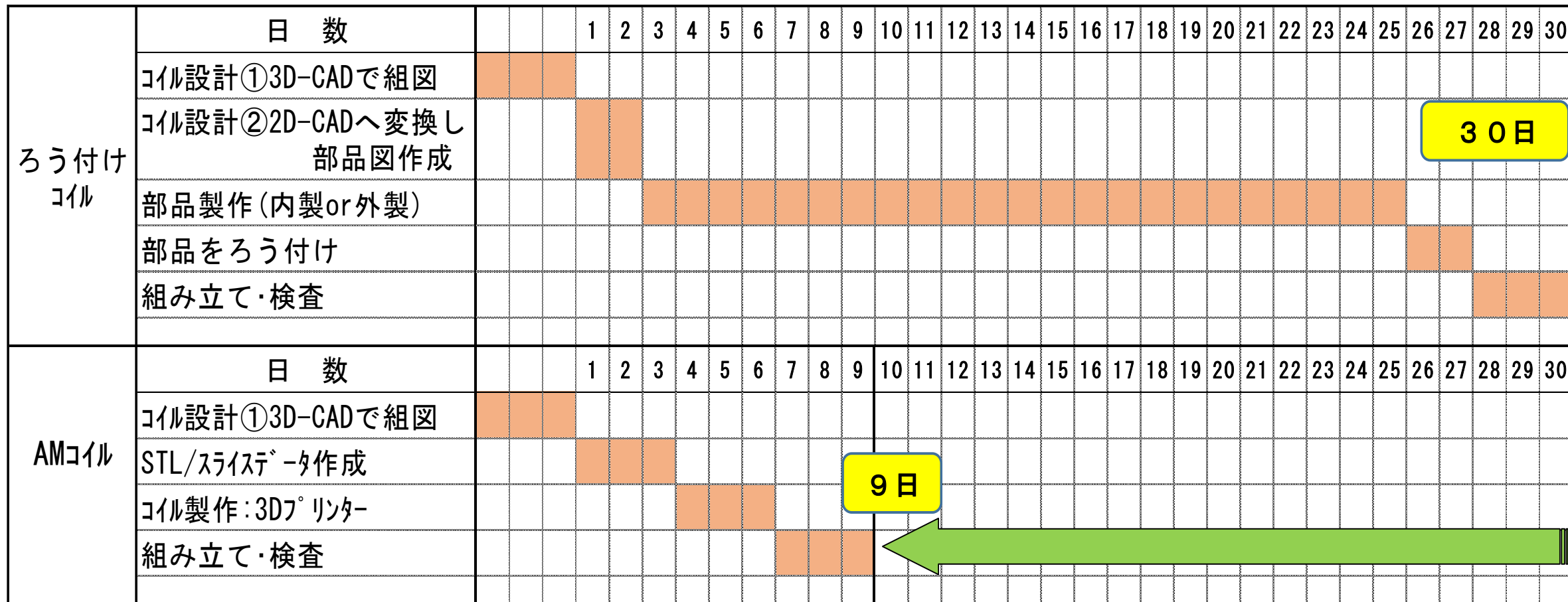


「AMコイル」の優位性

1. コイル品質(寿命)の安定・向上
- 2. コイル製作期間の短縮**
3. コイルの最適設計

コイル製作期間の短縮：30日⇒9日

コイル製作期間比較：ろう付けコイル⇔3Dプリンター造形コイル



ろう付けコイルの製作工程

(1) 部品加工



(2) ろう付け



(3) ろう付け完了



(4) 組み立て



(5) 検査



(6) 完成



AMコイルの製作工程

(1) 造形



(2) 造形完了



(3) 組み立て

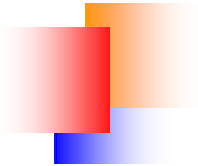


(4) 検査



(5) 完成





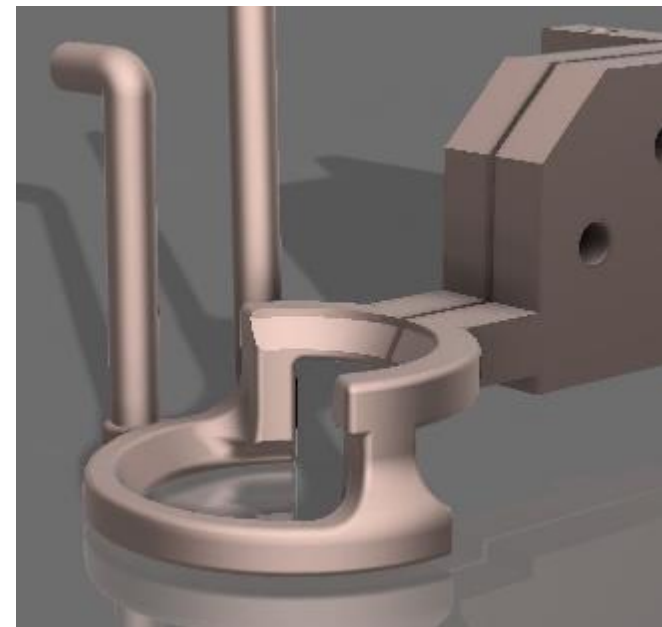
「AMコイル」の優位性

1. コイル品質(寿命)の安定・向上
2. コイル製作期間の短縮
3. **加熱コイル設計の自由度向上**

加熱コイル設計の自由度向上

高周波加熱コイルを、金属3Dプリンターを用いて一体造形することにより、従来のろう付けでは製造が困難（できても非常に高額）な形状のコイルの製作が可能となる為、設計の自由度が向上する。

- ①内部冷却水水路の**曲線化**
＝冷却水がスムーズに流れるようなR形状
※コイル寿命に効果

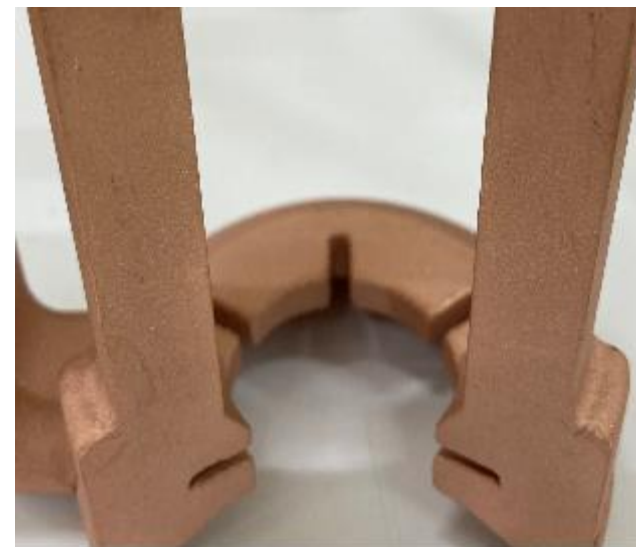


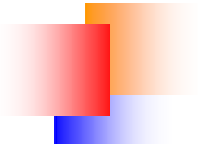
設計の自由度向上 事例

②コイル冷却水と焼入冷却水の
2つの水路を効率的に設計可能



③製品の熱処理仕様（焼入れパターン）
に更にマッチした
コイル形状の設計が可能





— 目 次 —

1. 会社紹介
2. 業務内容：高周波焼入れ
3. 金属3Dプリンターの選定・導入
4. 3Dプリンター造形コイルの優位性
- 5. 3Dプリンター造形コイルの品質**
6. 造形事例（ハイブリッド造形含む）
7. CAE＋積層造形
8. 銅以外の造形

安定かつ緻密な造形体の製作

- ◇ SLM方式における銅系材料は一般にレーザーに対する反射率の高さと熱伝導率の高さから入熱が阻害され、造形が難しいとされている。
- ◇ 金属3DプリンターSLM280PSに搭載された700Wレーザーでのパラメーターを開発し、相対密度99.5%以上の造形物を安定して製造できるようになった。

ベスト条件
充填率 99.966%

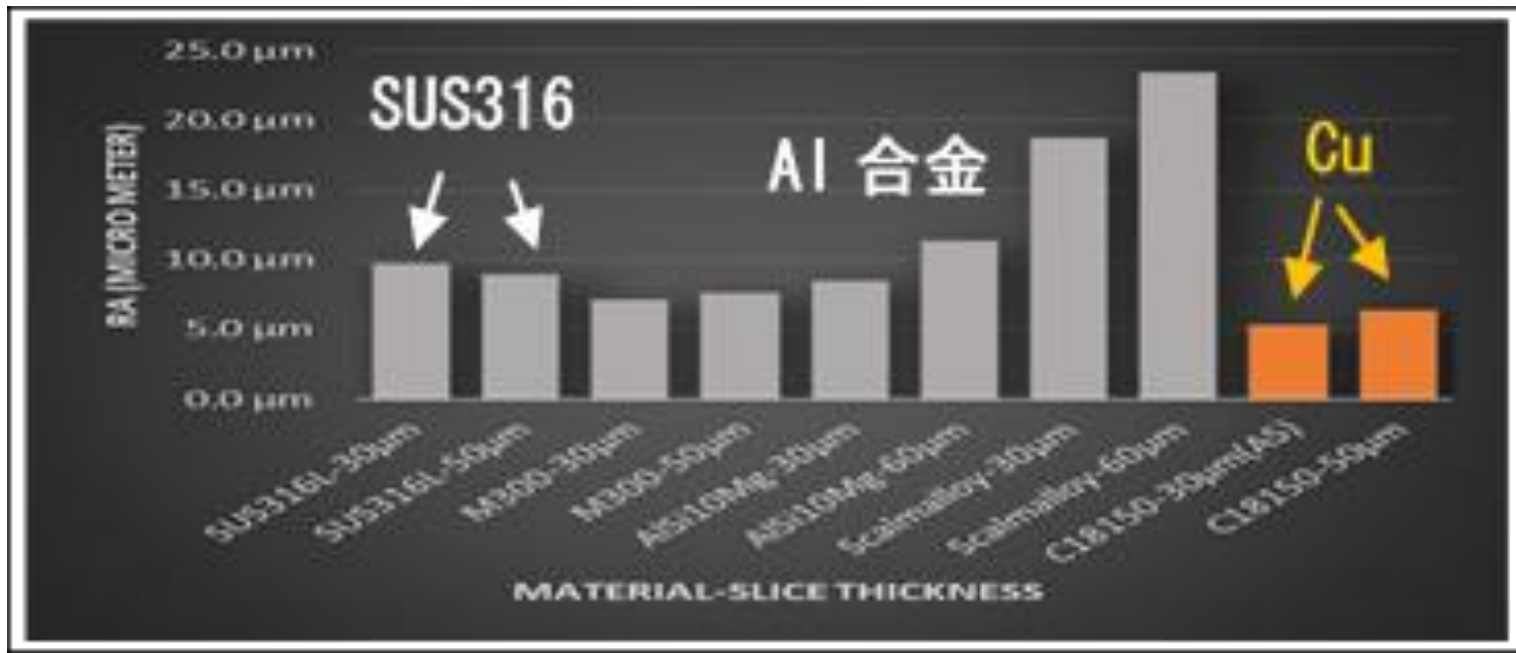


ワースト条件
充填率 96.910%



面粗度の低減

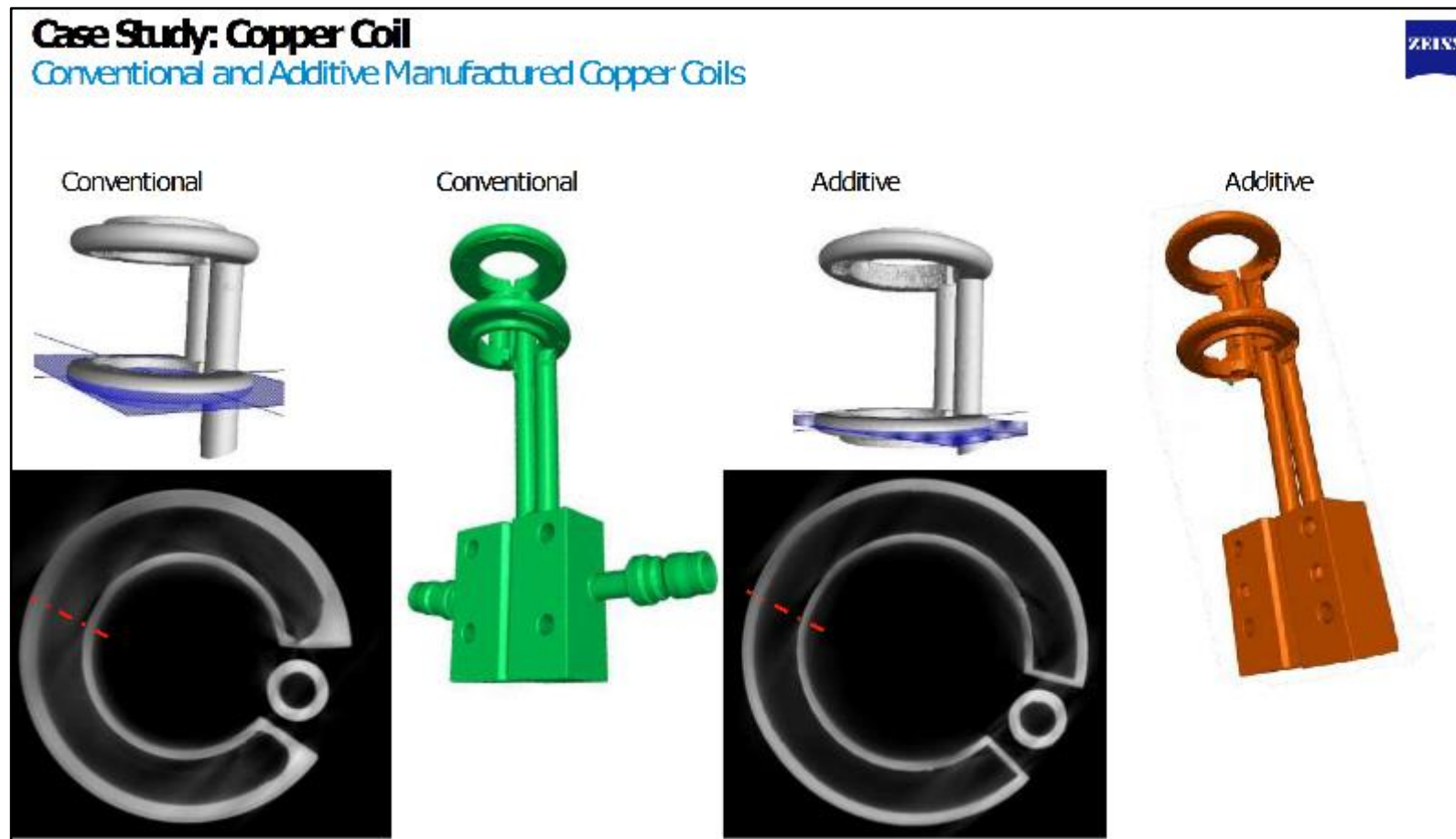
◇面粗さ $Ra = 10 \mu m$ 程度であり、良好です。



AMコイルの断面調査

加熱コイル断面の比較：電子顕微鏡

[Measured by ZEISS AM application center
in ORNL in Knoxville]

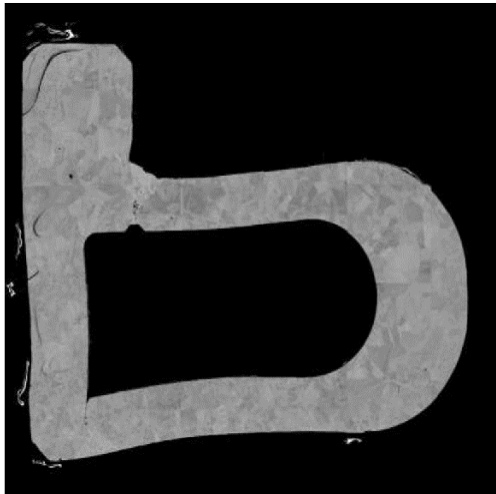


AMコイルの断面調査

加熱コイル断面の比較：電子顕微鏡

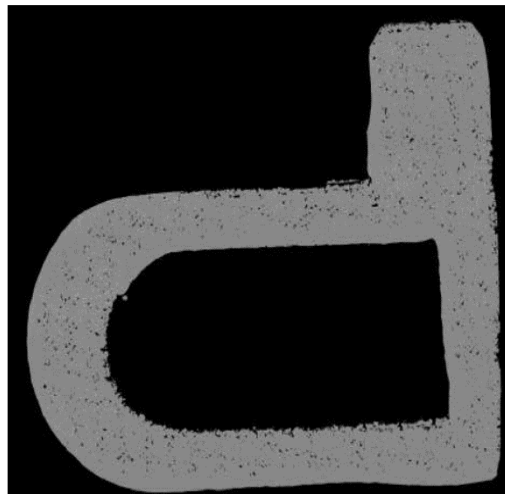
[Measured by ZEISS AM application center
in ORNL in Knoxville]

【ろう付けコイル】



※ろう付けコイルは、ろう付け時の熱による変形が発生している

【AMコイル】

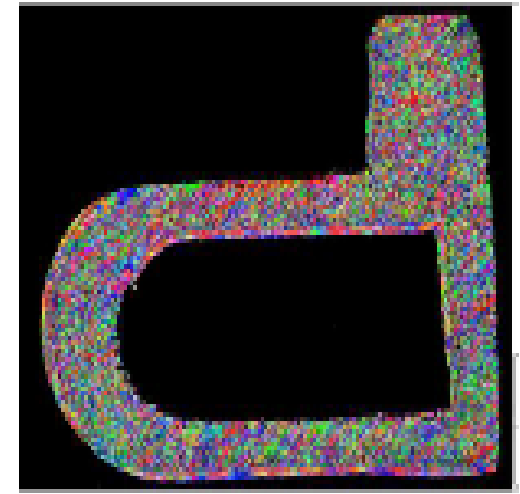


【ろう付けコイル】

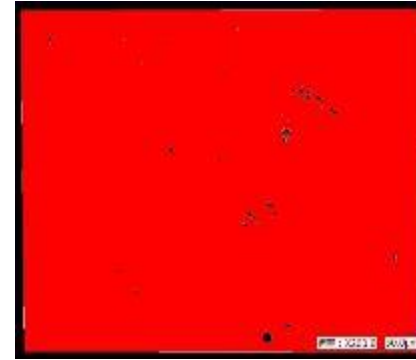
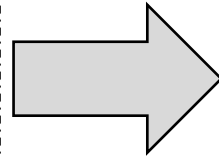
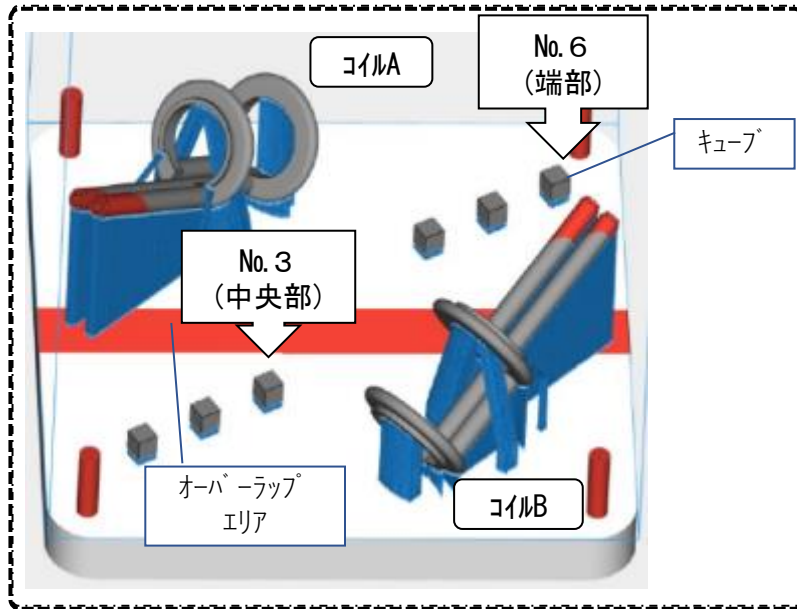


※AMコイルの方が、金属組織は細かい

【AMコイル】



3Dプリンター造形品 密度（充填率）



キューブ No.3(中央部)
密度(充填率) = 99.8%



キューブ No.6(端部)
密度(充填率) = 99.8%

キーエンス製顕微鏡VHX-6000
画像処理による自動面積計算機能

【参考】
ワースト条件と
ベスト条件での
密度(充填率)の
違い



ワースト条件
[96.910%]



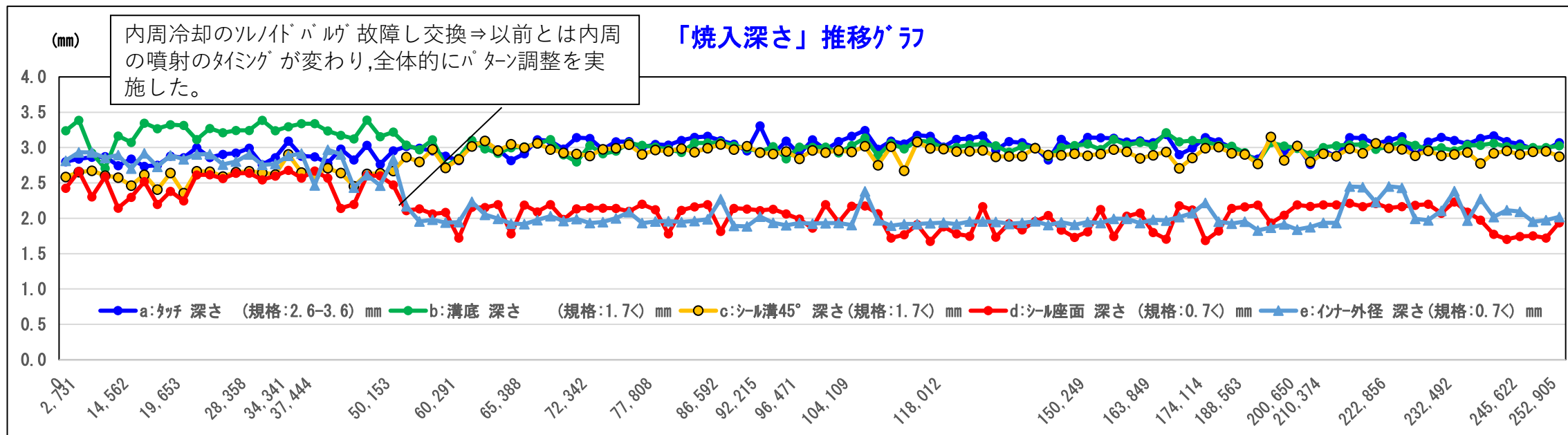
ベスト条件
[99.966%]

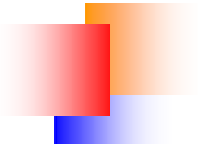
AMコイルを用いて高周波焼入れした製品の品質調査

海外合併会社における「ハブ輪コイル寿命」と 「3Dプリンターコイル（AMコイル）での焼入れ製品」品質推移

◇コイル寿命=71万3千個（ろう付けコイルの平均寿命：7万個）
※近い将来、100万個を目指します。

◇品質推移：下記グラフ参照





— 目 次 —

1. 会社紹介
2. 業務内容：高周波焼入れ
3. 金属3Dプリンターの選定・導入
4. 3Dプリンター造形コイルの優位性
5. 3Dプリンター造形コイルの品質
- 6. 造形事例（ハイブリッド造形含む）**
7. CAE＋積層造形
8. 銅以外の造形

3Dプリンター造形品 事例



3Dプリンター造形品 事例

移動焼入コイル：水路2系統



3Dプリンター造形品 事例

外径定置焼入コイル



3Dプリンター造形品 事例

内径焼入コイル



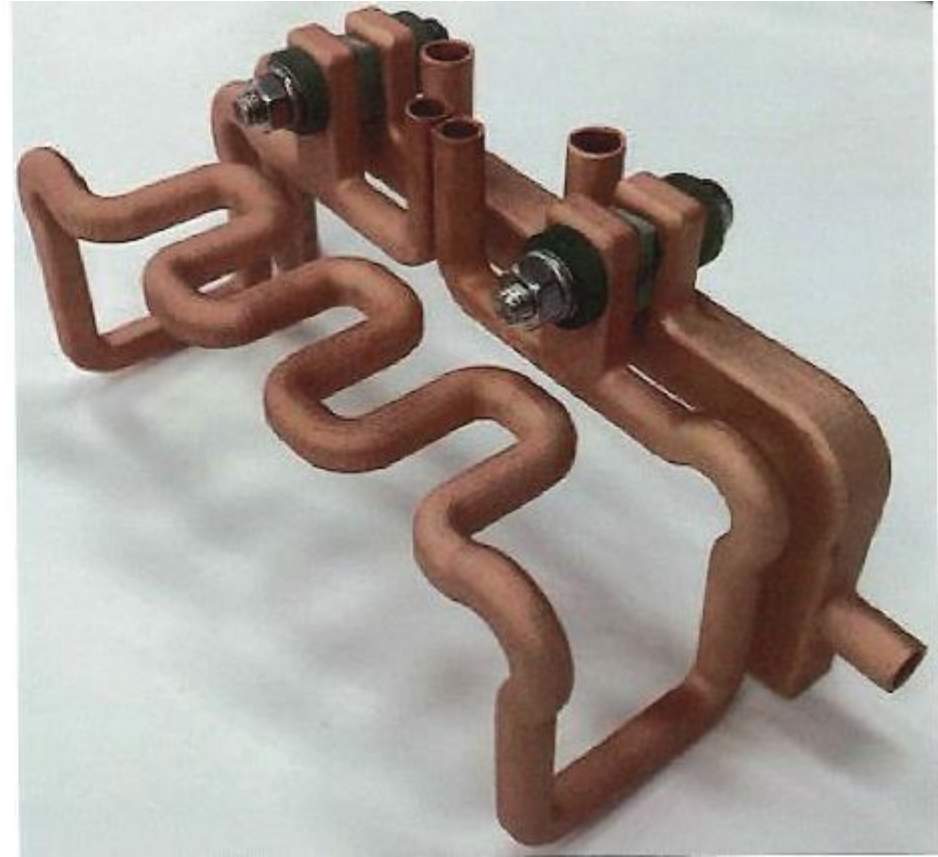
3Dプリンター造形品 事例

シングルショット焼入コイル



3Dプリンター造形品 事例

平面焼入コイル



【ハイブリッド造形】

- ・ 異種金属との組み合わせ
- ・ 機械加工部品との組み合わせ

※「愛知産業(株)」様に多大なるご支援を頂きました。

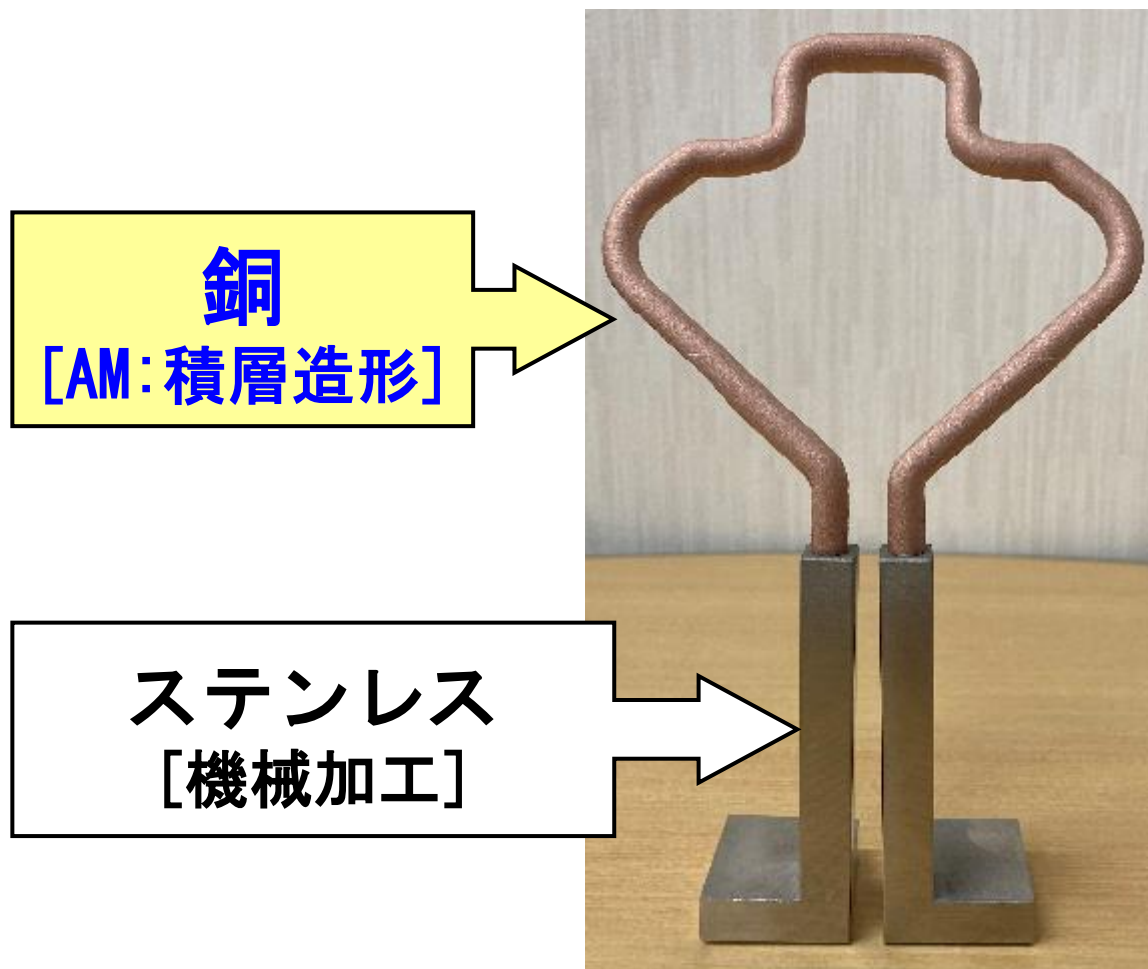
3Dプリンター造形品 事例：ハイブリッド造形

【ハイブリッド造形】

◇異種金属の
ハイブリッド造形

◇同一金属の
ハイブリッド造形

※機械加工で簡単に
加工できる部分は
機械加工を行い、
複雑な形状の部分を
3Dプリンターで造形



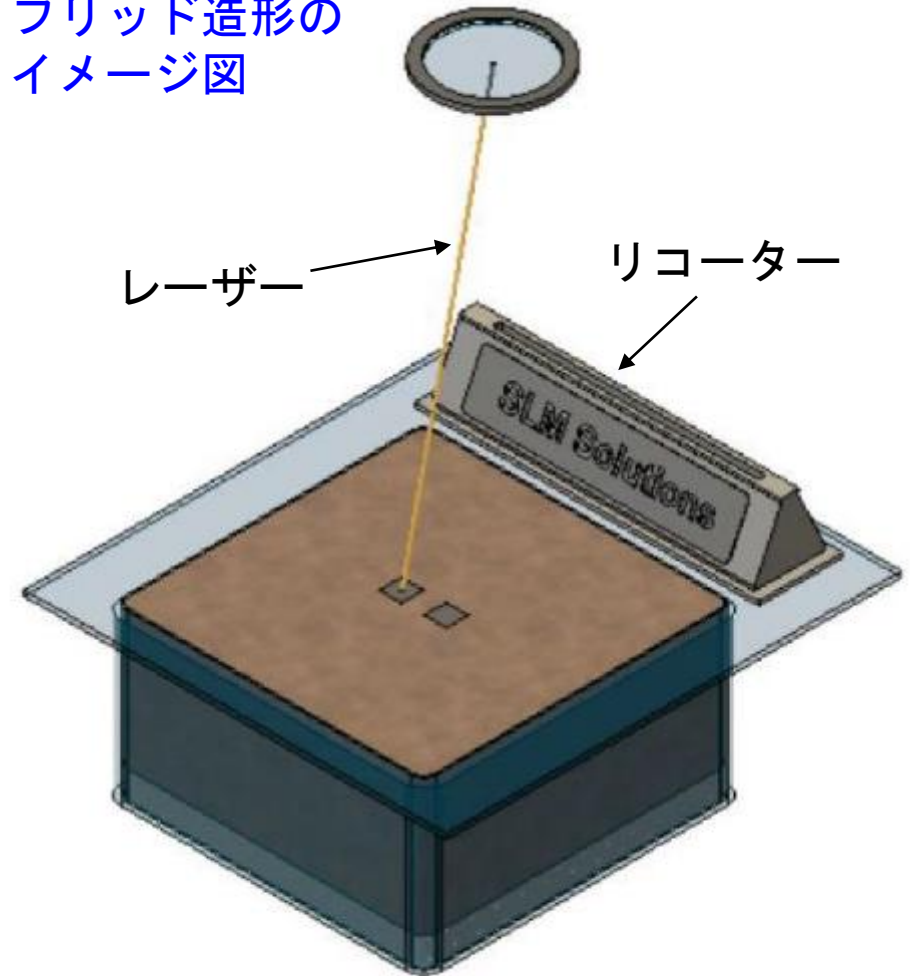
3Dプリンター造形品 事例：ハイブリッド造形

この面より第1層目を
スタート

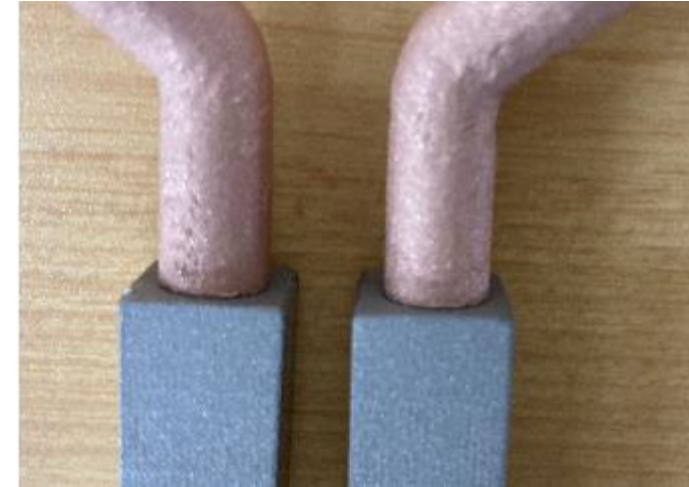


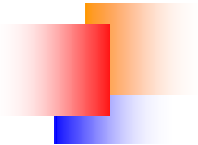
ステンレス・機械加工

ハイブリッド造形の
イメージ図



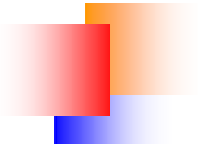
3Dプリンター造形品 事例：ハイブリッド造形





— 目 次 —

1. 会社紹介
2. 業務内容：高周波焼入れ
3. 金属3Dプリンターの選定・導入
4. 3Dプリンター造形コイルの優位性
5. 3Dプリンター造形コイルの品質
6. 造形事例（ハイブリッド造形含む）
- 7. CAE＋積層造形**
8. 銅以外の造形



C A E + 積層造形

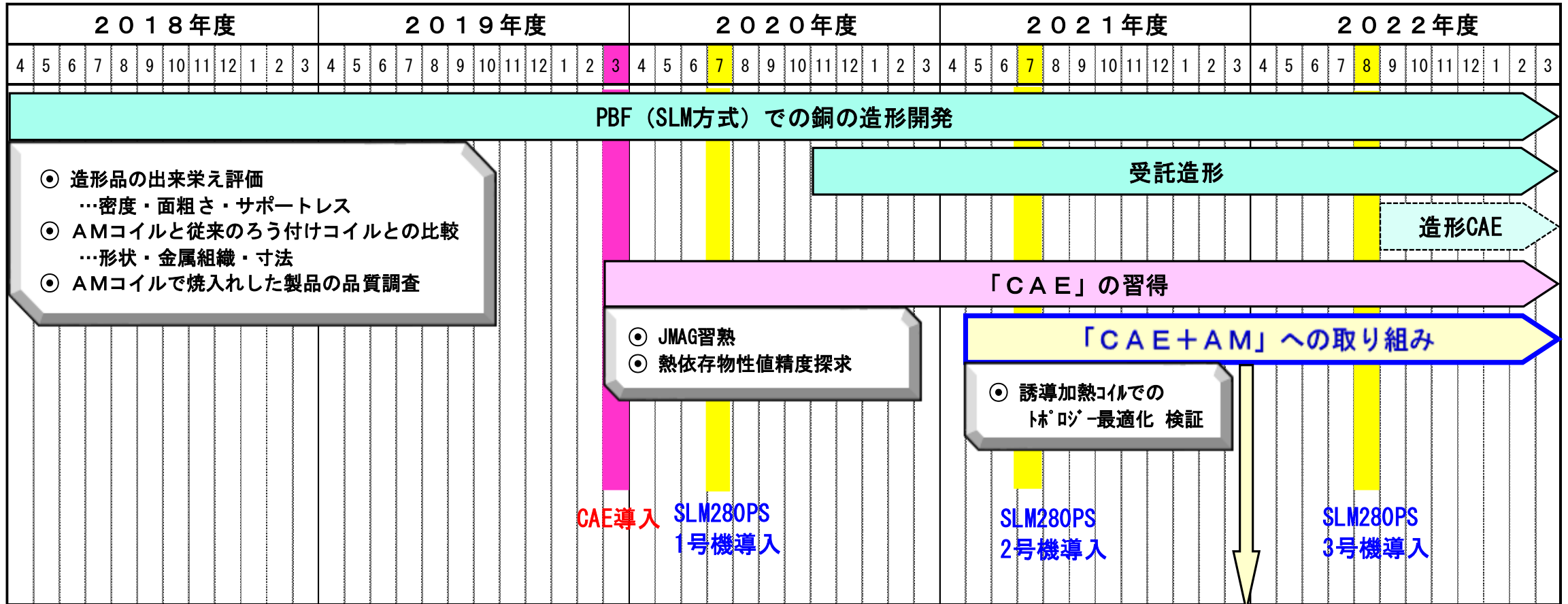
ティーケーエンジニアリングでは、

◇熱処理シミュレーションのための
「電磁界解析＋熱解析」ソフトウェア（J M A G : J S O L 社）
を2020年3月に導入。

◇金属3Dプリンター（S L M 2 8 0 P S : S L M Solutions社(独)）
を2020年7月に導入。

⇒高周波焼入れ用加熱コイルの開発に活用している。

C A E + 積層造形

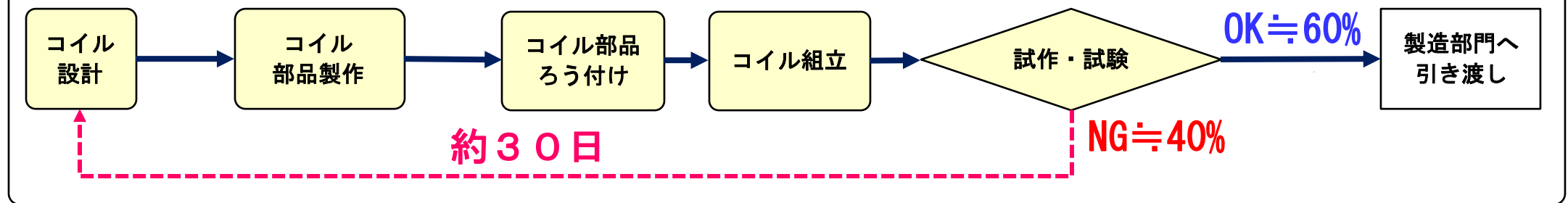


バーチャルとリアルで
技術革新！

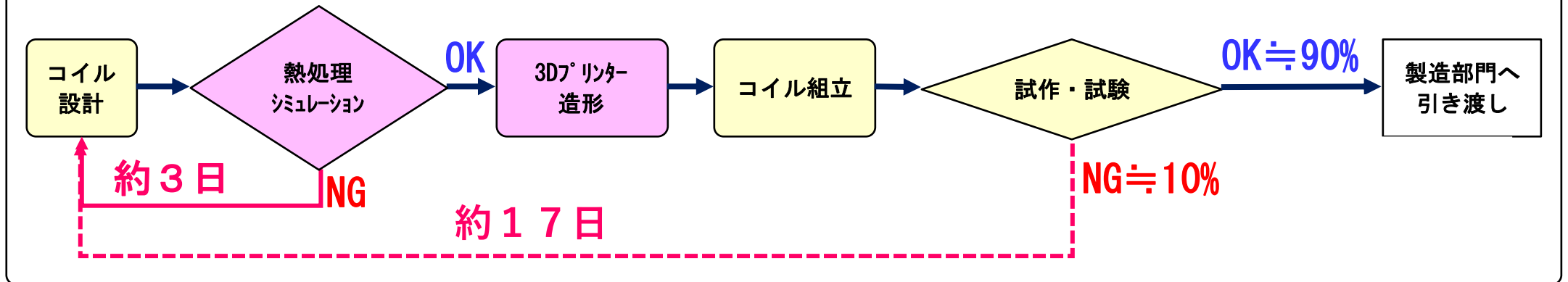
AMにCAEを組み合わせる研究・開発を行い、
開発期間の短縮や最適形状の加熱コイルの造形ができるようになった

C A E + 積層造形

従来のコイル製作フロー

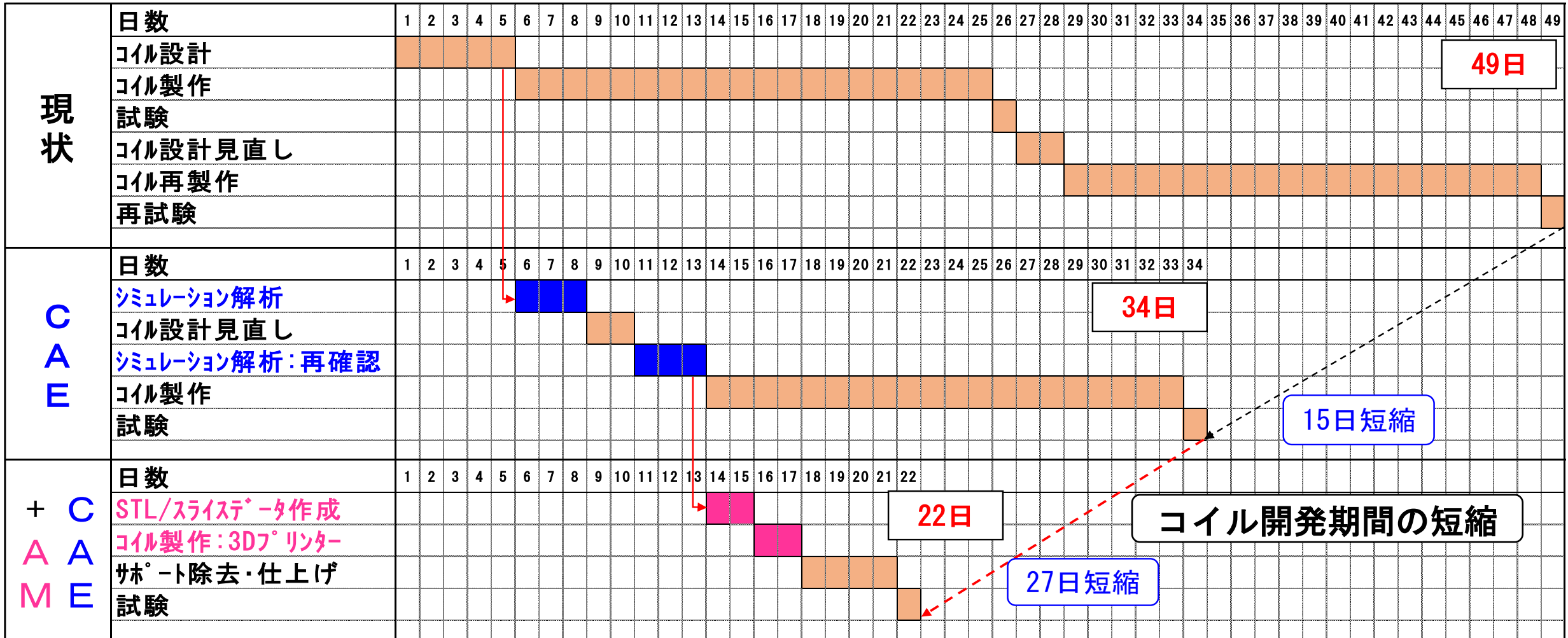


「熱処理シミュレーション+3Dプリンター」でのコイル製作フロー



CAE + 積層造形

コイル再製作(2回)の場合の開発期間(設計～再設計～試験完了)



C A E + 積層造形



1. 日本総合研究所(現JSOL社)が 1983年より開発・販売している、電磁界解析ソフトウェア。
2. 磁界を主に有限要素法で解く磁界解析が主力。
熱解析、電界解析、構造解析にも対応。
3. 1983年のリリース以来、世界中の企業、大学で利用され、数多くの製品開発に貢献。

JMA Gユーザーインタビュー記事

2024年3月9日

高雄工業株式会社/ティーケーエンジニアリング株式会社

発行日: 2024年3月26日

1974年の創業以来、自動車部品、産業用機械部品、EV(電気自動車)部品、精密機械部品等の製造を行う金属加工メーカーです。近年は、金属3Dプリンターによる受託造形と高周波熱処理技術の開発で新しい「ものづくり」に取り組んでいます。



本社工場



海老工場



新保工場



新山工場

高雄工業株式会社は、これまで豊富な金属加工技術と世界標準の品質で自動車部品及び産業機械部品等の製造分野で発展してきました。2021年8月には高雄工業グループの新しい技術開発の発展を担う関連会社としてティーケーエンジニアリング株式会社が発足しました。今回のインタビューでは、金属3Dプリンター受託造形と高周波熱処理技術を活用した新しい生産改革の取り組みについて、代表取締役 下村 聡を、取締役

お話を伺った方



高雄工業株式会社
ティーケーエンジニアリング株式会社
代表取締役社長
下村 聡氏



ティーケーエンジニアリング株式会社
高周波熱処理部
技術開発課
河辺 工博氏



会社名: 高雄工業株式会社
設立: 1974年10月1日
所在地: 愛知県海老市3丁目13番地2
代表者: 代表取締役社長 下村 聡
社員数: 890名(グループ全体: 990名) ※2022年1月16日現在
事業内容: 自動車部品及び産業機械部品の製造
URL: <https://www.takao-net.co.jp/corporate/outline.html>

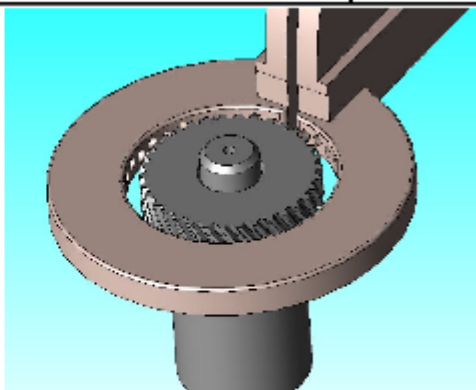


会社名: ティーケーエンジニアリング株式会社
設立: 2021年8月2日
所在地: 本社 愛知県豊橋市3丁目13番地2
愛知事業所(営業所): 愛知県豊橋市古山3丁目22番地
代表者: 代表取締役社長 下村 聡
社員数: 73名 ※2022年3月現在
事業内容:
・金属3Dプリンターによる造形品の製造、販売
・切削工具 および 特殊工具の仕入れ、販売
・精密加工による部品、治工具の製造、販売
・溶入化・自溶化装置並びに熱処理装置の製造、販売
URL: <https://www.takao-net.co.jp/tke/company.html>

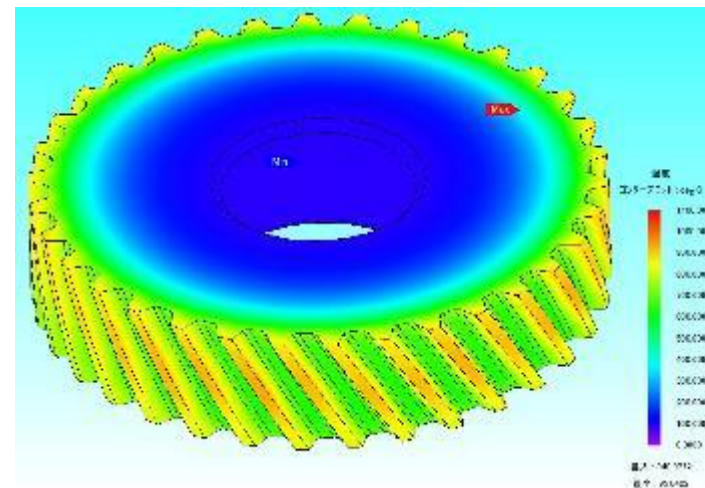
トポロジー最適化＋積層造形

通常は、製品形状・熱処理仕様より、コイル設計者がコイルを設計します。
その後、そのコイル形状で熱処理仕様が満足できるかをシミュレーションします。

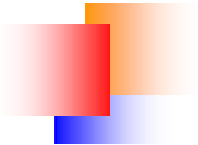
設定内容	条件項目		条件設定値	
	加熱条件	加熱時間	0 ~ 10.0 sec	
		周波数	300.0 kHz	
		振幅(A)	1500⇒1500 A	
		回転数	200 r/m	
	メッシュ	部品 ワーク	1.6 mm	
		部品2 コイル	3.2mm	
		面 1	0.5mm	
		表皮厚さ ワーク	0.4 mm 4 分割	
	その他	空気領域	5倍	
		熱伝達1	10W/m ² /deg C	
		解析時間	0sec 14hour 15min 20sec	



クリアランス : mm
実際の加熱時間 : sec



今回は、コンピューターに製品形状・熱処理仕様等をインプットし、
トポロジー最適化という手法を用いて、アウトプットとしてコイル形状を
得て、それを3Dプリンターで造形することを行いました。



トポロジー最適化＋積層造形

◇トポロジー（位相幾何学）最適化の基本的な考え方

設計したい空間にどのように材料を配置すれば最適な構造となるのかを計算する方法

◇今後、AM（Additive Manufacturing）をはじめとする生産・加工技術のさらなる進歩に伴い、トポロジー最適化利用の可能性はますます拡大するものと考えられている。

⇒トポロジー最適化＋AM（積層造形）は、相性が良いと言われている

トポロジー最適化＋積層造形

【ブラケットの事例】



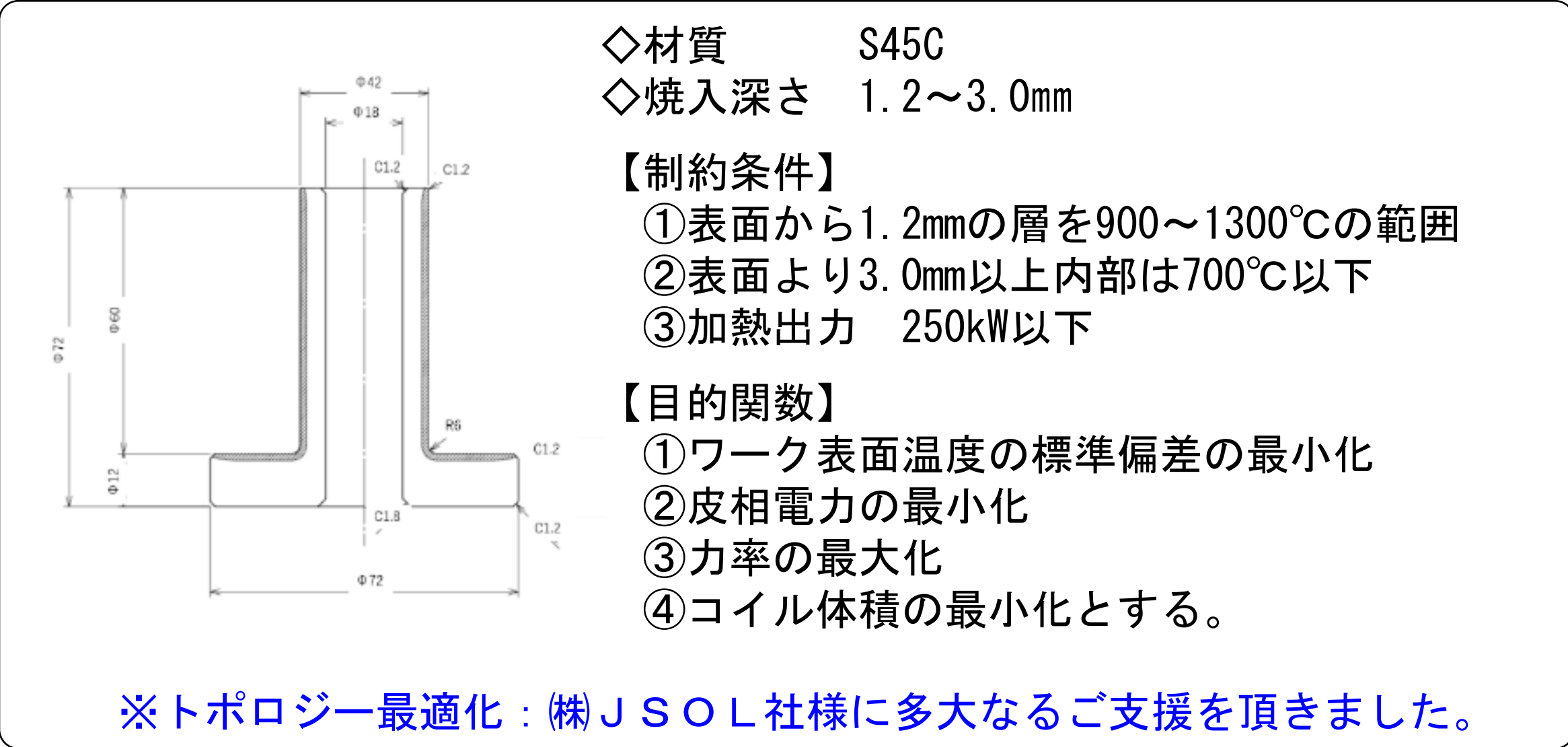
トポロジー最適化で
最適形状を同定



3Dプリンターで造形



SLM Solutions社 造形事例集より



◇焼入深さ 1.2~3.0mm

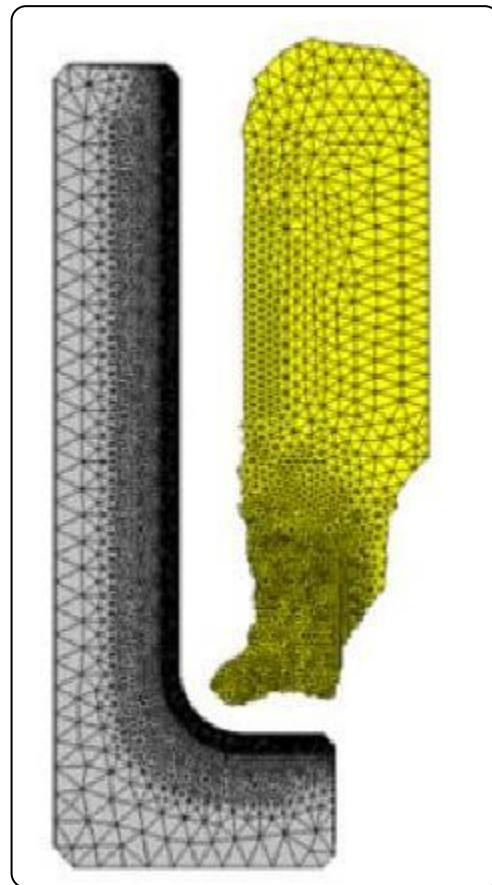
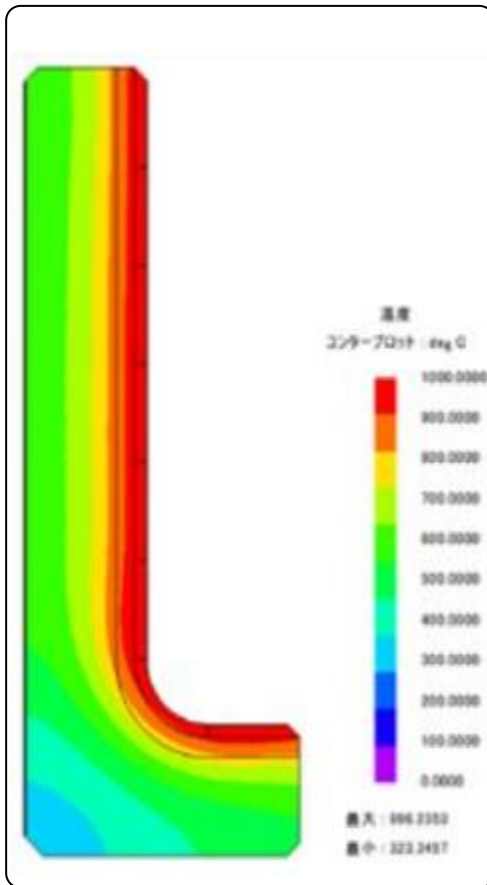
- ①表面から1.2mmの層を900～1300℃の範囲
- ②表面より3.0mm以上内部は700℃以下
- ③加熱出力 250kW以下

- ①ワーク表面温度の標準偏差の最小化
- ②皮相電力の最小化
- ③力率の最大化
- ④コイル体積の最小化とする。

※トポロジー最適化：(株)JSOL社様に多大なるご支援を頂きました。

トポロジー最適化＋積層造形

シミュレーションでの
確認結果

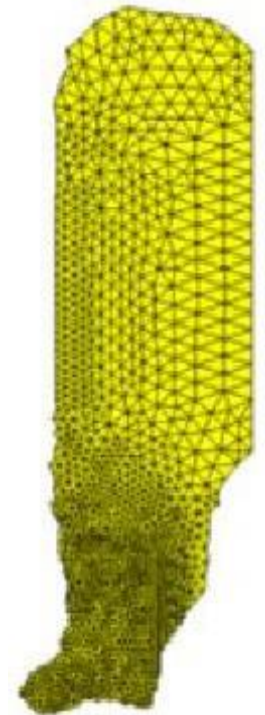
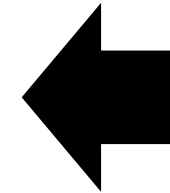
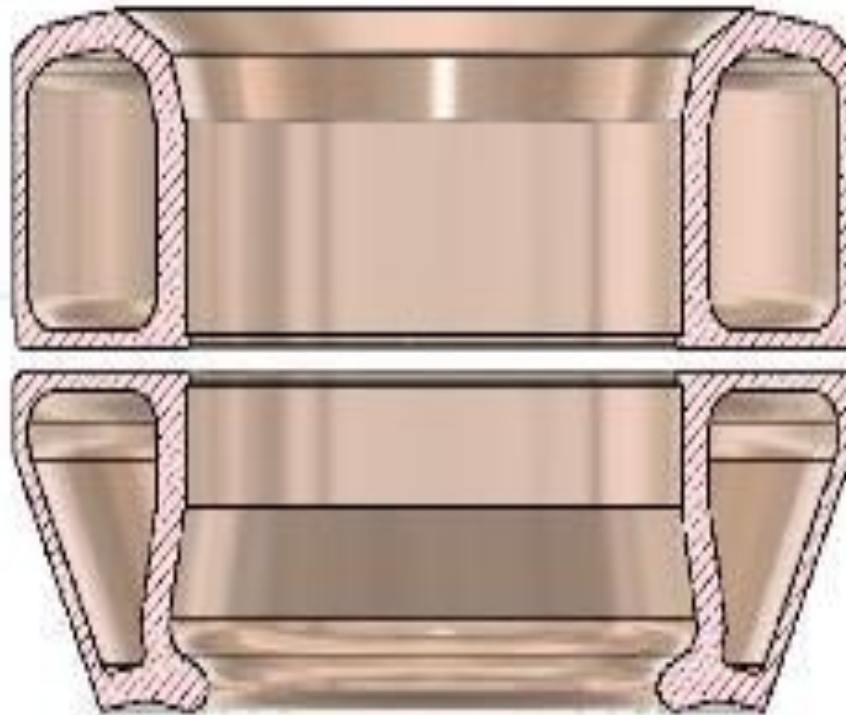
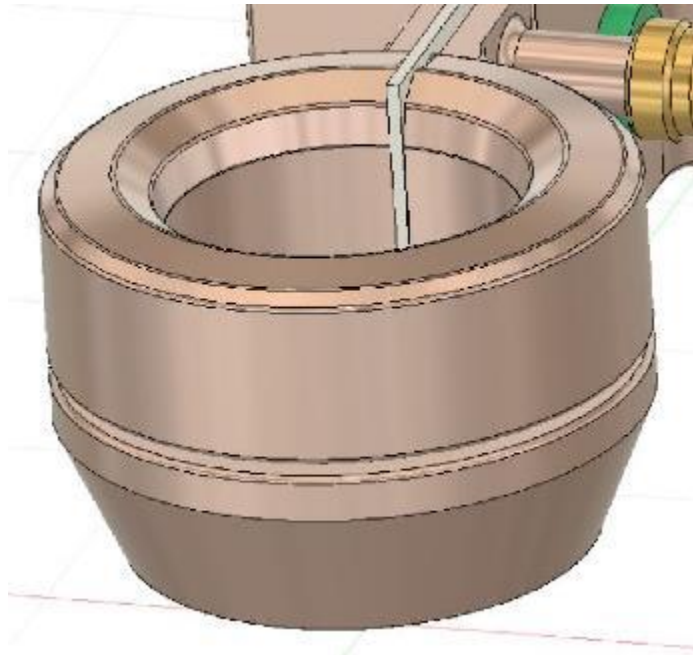


コイル形状（トポロジー）が最適化計算の設計変数であり、有限要素メッシュモデルでコイルとなり得る領域の各要素の材料特性を銅もしくは空気に変えていくことで任意のコイル形状を表現する。

トポロジー最適化で
同定されたコイル形状

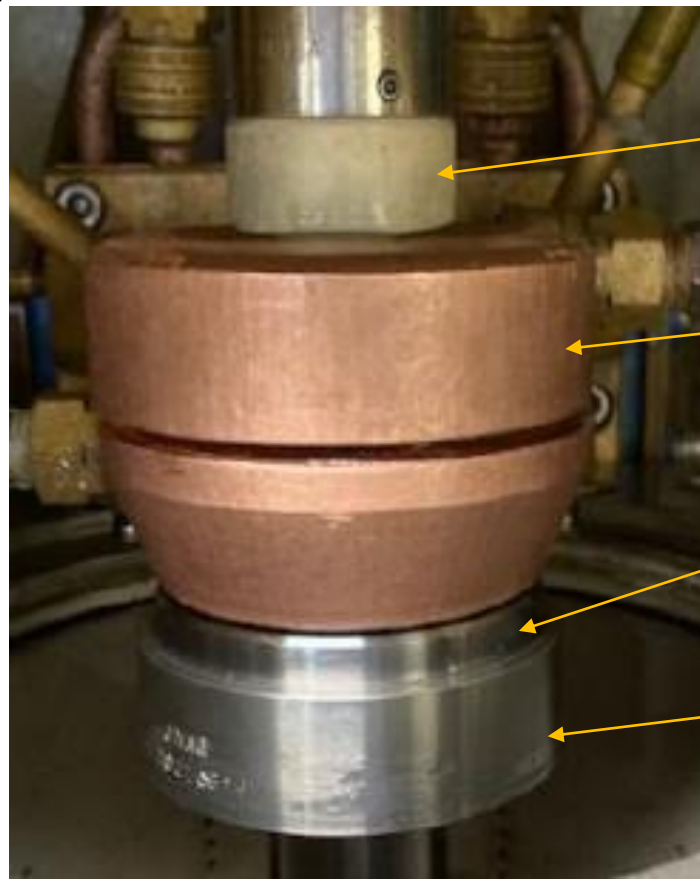
トポロジー最適化＋積層造形

トポロジー最適化でのコイル形状を基に、設計者が作成したC A D図



トポロジー最適化＋積層造形

3Dプリンターでコイルを造形：AMコイル ⇒ 熱処理テスト



上センター

加熱コイル
(積層造形)

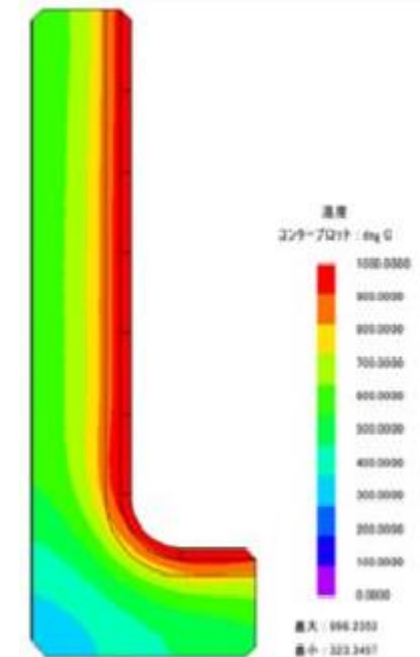
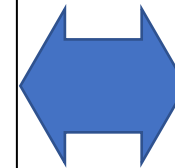
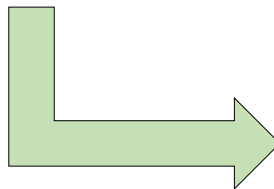
下センター

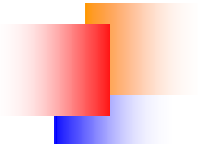


ワーク

トポロジー最適化＋積層造形

シミュレーション結果と実際の焼入パターンとの比較



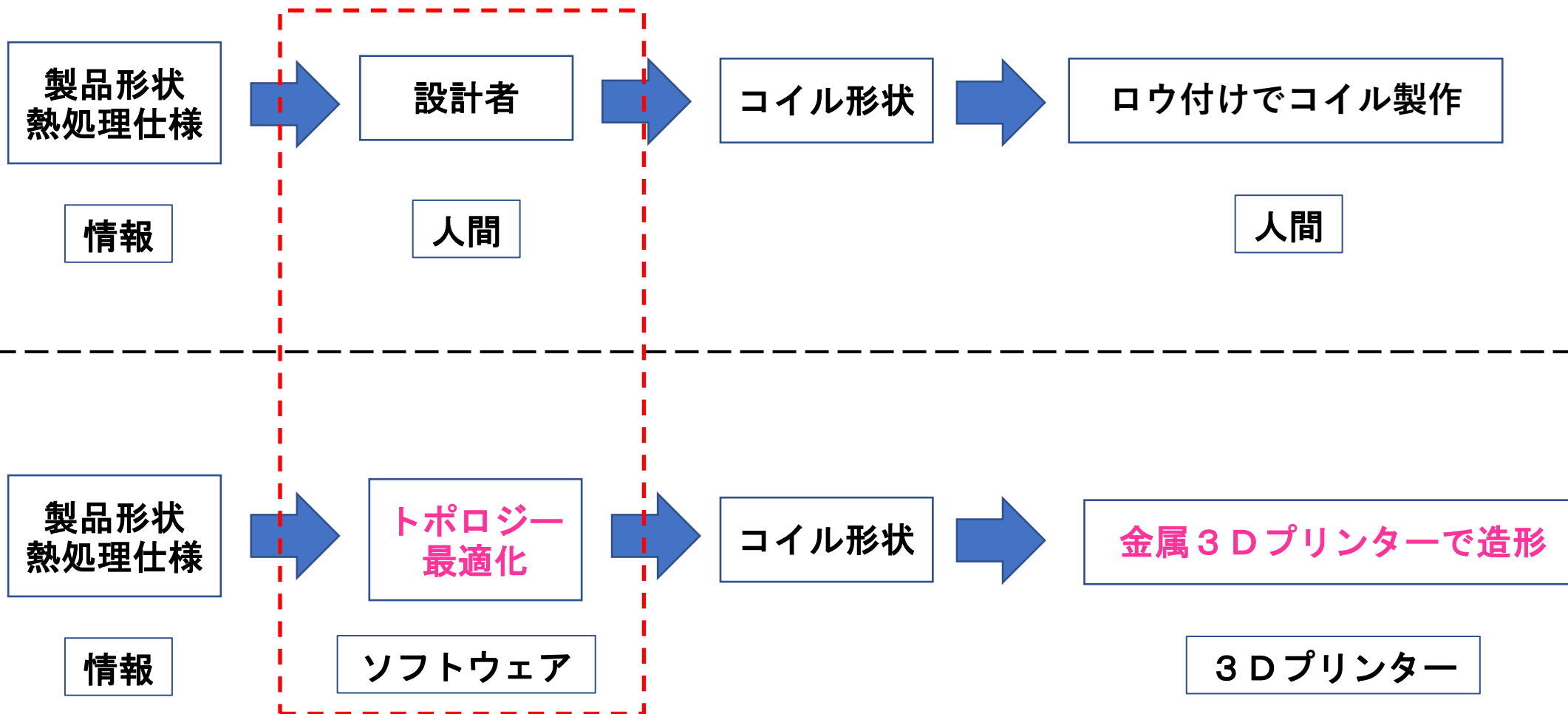


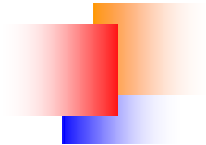
トポロジー最適化＋積層造形

■ トポロジー最適化で同定されたコイル形状を
金属3Dプリンターで造形し、
実際に焼入れすると、
制約条件をほぼ満足できる焼入れパターンが
得られた。

「トポロジー最適化＋積層造形」が
加熱コイルにも適用できることが検証できました。

トポロジー最適化＋積層造形



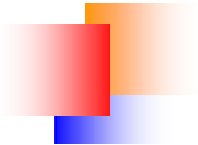


トポロジー最適化＋積層造形

■高周波焼入れにおいて、
製品形状・焼入仕様をみて、**コイル設計**ができるようになる
には「**10年**」かかると言われている。
又、**ろう付け作業も熟練を要する**作業で、一人前になるには、
かなりの時間が必要。

これが、将来的には、
「**トポロジー最適化＋3Dプリンター**」の組み合わせで、
「**短期間で、容易にできるようになる**」可能性がある。

誘導加熱の技術革新！



— 目 次 —

1. 会社紹介
2. 業務内容：高周波焼入れ
3. 金属3Dプリンターの選定・導入
4. 3Dプリンター造形コイルの優位性
5. 3Dプリンター造形コイルの品質
6. 造形事例（ハイブリッド造形含む）
7. CAE＋積層造形
- 8. 銅以外の造形**

今後の取り組み：銅以外の造形

航空機、エネルギー、金型、医療、一般治工具等へも広げ挑戦



航空機関係



エネルギー関係



医療関係

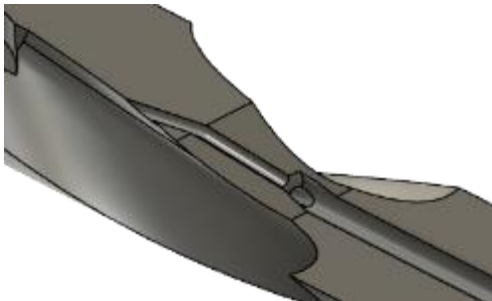
SLM Solutions社ホームページ資料より

今後の取り組み：銅以外の造形

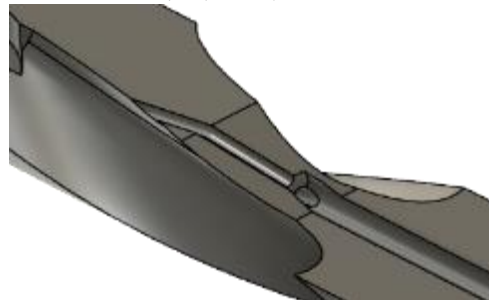
金属 3 D プリンターを用いた切削加工用ホルダの製作



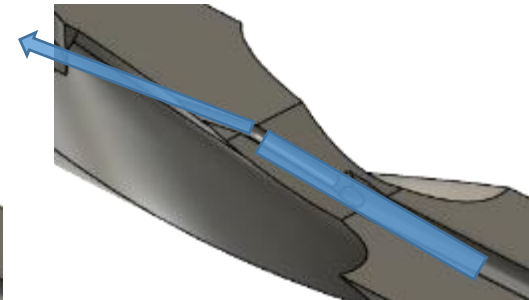
特徴②
真鍮の埋栓が不要



特徴③
穴あけ加工が不要
⇒3Dプリンターで造形可能

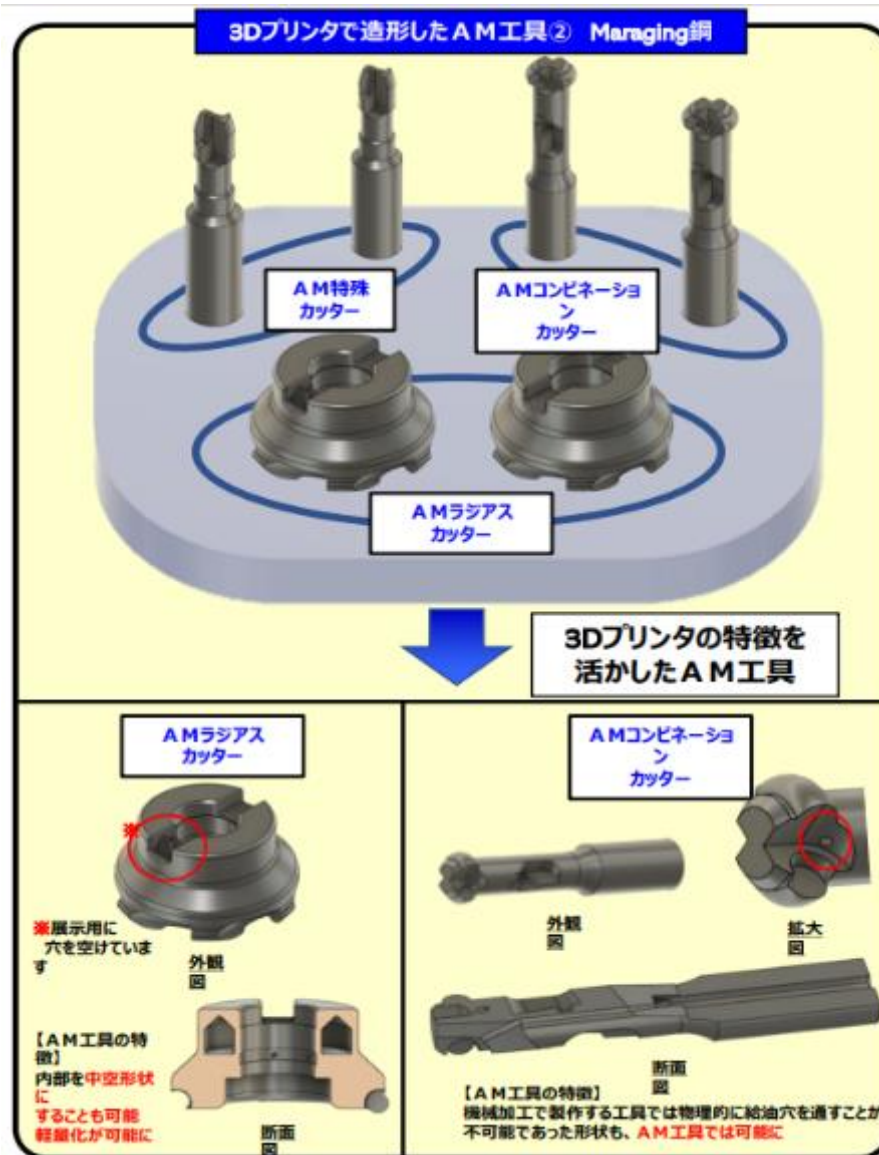


特徴④
切削油の圧力損失を低減できる



内部給油穴 断面拡大図

今後の取り組み：銅以外の造形



カーボンニュートラル活動

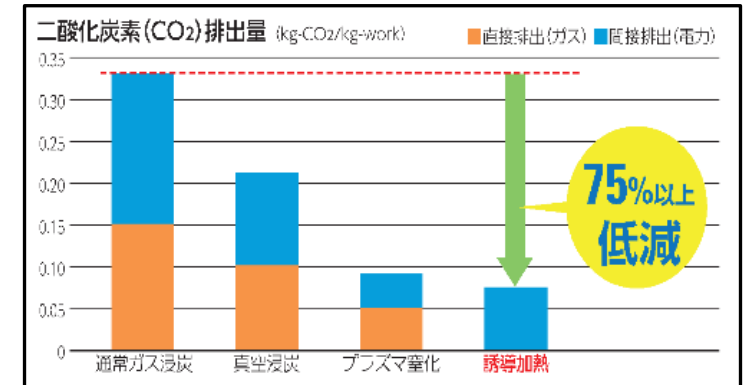
【カーボンニュートラルへの取り組み】

◇誘導加熱での熱処理 ⇒CO2排出量が少ない熱処理

自動車部品の熱処理を誘導加熱（高周波焼入れ・焼戻し）で行っている⇒関係会社含め「49ライン」設置

◇「熱処理シミュレーション+3Dプリンター」で誘導加熱コイルを製作

- ①無駄なコイルを造らない⇒銅材料使用量の削減
- ②無駄なテストピースが不要⇒鉄鋼材料使用量の削減



※高周波熱錬(株) 第111期 中間ネツレンレポートより

◇3Dプリンターでモノづくりを行うことにより、切粉が発生しない

- ・機械加工は、素材を削りながら加工を行うため、切粉等の無駄が発生⇒引き算の加工
- ・積層造形は、必要な箇所のみを造形⇒足し算の加工

◇3Dプリンターで造形することにより、切削ツールでの効果的な切削油噴射が可能

- ①切削ツールの軽量化による電力節減・品質向上
- ②切削ツール内部の水路より最適な位置に噴射させることにより、最小必要減の水量で切削可能となる⇒加工機のポンプの小型化⇒電力削減
- ③内部の水路より噴射させることにより噴射位置が安定するため、切削不良がなくなる⇒鉄鋼材料使用量の削減

2023年 展示会予定

2023年 展示会予定

3Dプリンタ展示会予定					ティーケーエンジニアリング(株)
年度	NO.	※青字は、海外展示会 名 称	期 間	場 所	主 催
2023年	1	3Dプリンティング&AM技術の総合展	2023年2月1日(水)～3日(金)	東京ビッグサイト	TCT Japan
	2	第8回 名古屋ものづくりワールド 第5回 名古屋次世代3Dプリンタ展	2023年4月12日(水)～14日(金)	ポートメッセなごや	RX Japan
	3	RAPID + TCT2023-North America's Additive Manufacturing event	2023年5月2日(火)～4日(木)	シカゴ/アメリカ	RAPID + TCT
	4	THERMPROCESS 2023-国際工業炉・熱応用技術展・シンポジウム	2023年6月12日(月)～6月16日(金)	デュッセルドルフ/ドイツ	メッセ・デュッセルドルフ
	5	第35回 日本ものづくりワールド 第6回 次世代3Dプリンタ展	2023年6月21日(水)～23日(金)	東京ビッグサイト	RX Japan
	6	グランドフェア2023 関東	2023年7月7日(金)～8日(土)	幕張メッセ	ユアサ商事
	7	グランドフェア2023 東北	2023年7月21(金)～22日(土)	夢メッセみやぎ	ユアサ商事
	8	グランドフェア2023 中部	2023年9月1(金)～2日(土)	ポートメッセなごや	ユアサ商事
	9	グランドフェア2023 関西	2023年9月15(金)～16日(土)	インテックス大阪	ユアサ商事
	10	グランドフェア2023 九州	2023年9月27(水)～28日(木)	グランメッセ熊本	ユアサ商事
	11	フォームネクストフォーラム東京	2023年9月28日(木)～29日(金)	東京都立産業貿易センター浜松町館	メッセフランクフルトジャパン
	12	第26回 関西ものづくりワールド 第5回 関西次世代3Dプリンタ展	2023年10月4日(水)～6日(金)	インテックス大阪	RX Japan
	13	ITM 2023-Industrial Transformation Mexico	2023年10月4日(水)～6日(金)	レオン/メキシコ	Deutsche Messe / Hannover Fairs Mexico
	14	モノづくりフェア2023	2023年10月18日(水)～20日(金)	マリンメッセ福岡	日刊工業新聞社
	15	Formnext 2023- Additive Manufacturing and Industrial 3D Printing	2023年11月7日(火)～10日(金)	フランクフルト/ドイツ	メッセ・フランクフルト
	16	METALEX 2023 Machine Tools & Metalworking Exhibition	2023年11月22日(水)～25日(土)	バンコク/タイ	Reed Tradex Company
	17	第1回 九州ものづくりワールド 第1回 九州次世代3Dプリンタ展	2023年11月29日(水)～12月1日(金)	マリンメッセ福岡	RX Japan
	18	MACHINE TOOL INDONESIA	2023年12月6日(水)～12月9日(土)	ジャカルタ/インドネシア	PT Pamerindo Indonesia

ご清聴ありがとうございました。

「環境と技術は、引き算から足し算でイノベーション」