



オンラインセミナー
(株)ExOne

無機バインダによる
3D中子造形の現状

本日の発表者



横山 謙次

株式会社ExOne
代表取締役

2005年ExOne設立時から技術者として勤務

Central Washington University工学部にて学士・修士課程を卒業し、2004年から砂・金属の3Dプリンターにおける材料の技術開発に携わる

Today's Agenda

1

ExOneの技術

2

製造業における砂のバインダジェット式3D造形

3

無機バインダが変える未来

4

無機造形工程のフロー

5

展望：無機3D造形のロードマップ

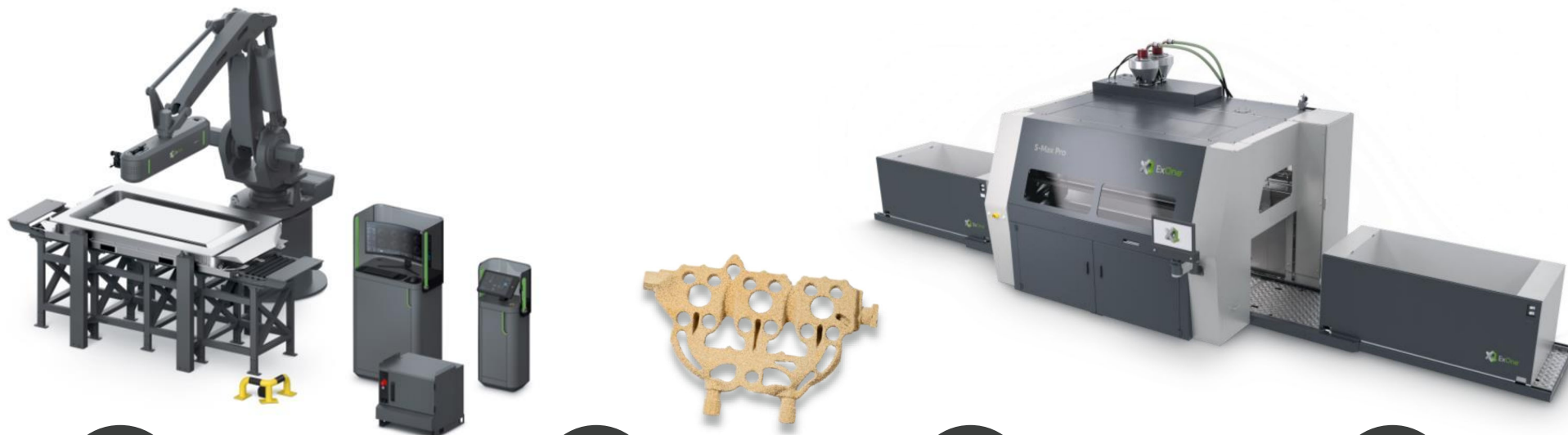




EXONEの技術

ExOne | 概要

20年以上にわたるバインダージェット式3D造形のグローバルリーダー



創設

- ▶ 20年以上にわたる欧米、アジアにおける実績
- ▶ 2021年秋に米国Desktop Metalと合併し、技術力拡大を目指す



機械&サービス

- ▶ 産業グレードのバインダージェット式3D造形システム
- ▶ およびサービス
- ▶ 砂型・金属・セラミック・複合素材向けの3D造形ソリューション



高付加価値部品

- ▶ 砂型および中子
- ▶ 金属3D造形
- ▶ セラミック3D造形
- ▶ 3D造形によるその他のソリューション



産業市場

- ▶ 鋳造業 | 自動車
航空宇宙 | 防衛 | 医療
エネルギー | 重機
建築 | 建設

ExOne | デスクトップメタル社

デスクトップメタル社との合併で活動拠点を65カ国以上に拡大

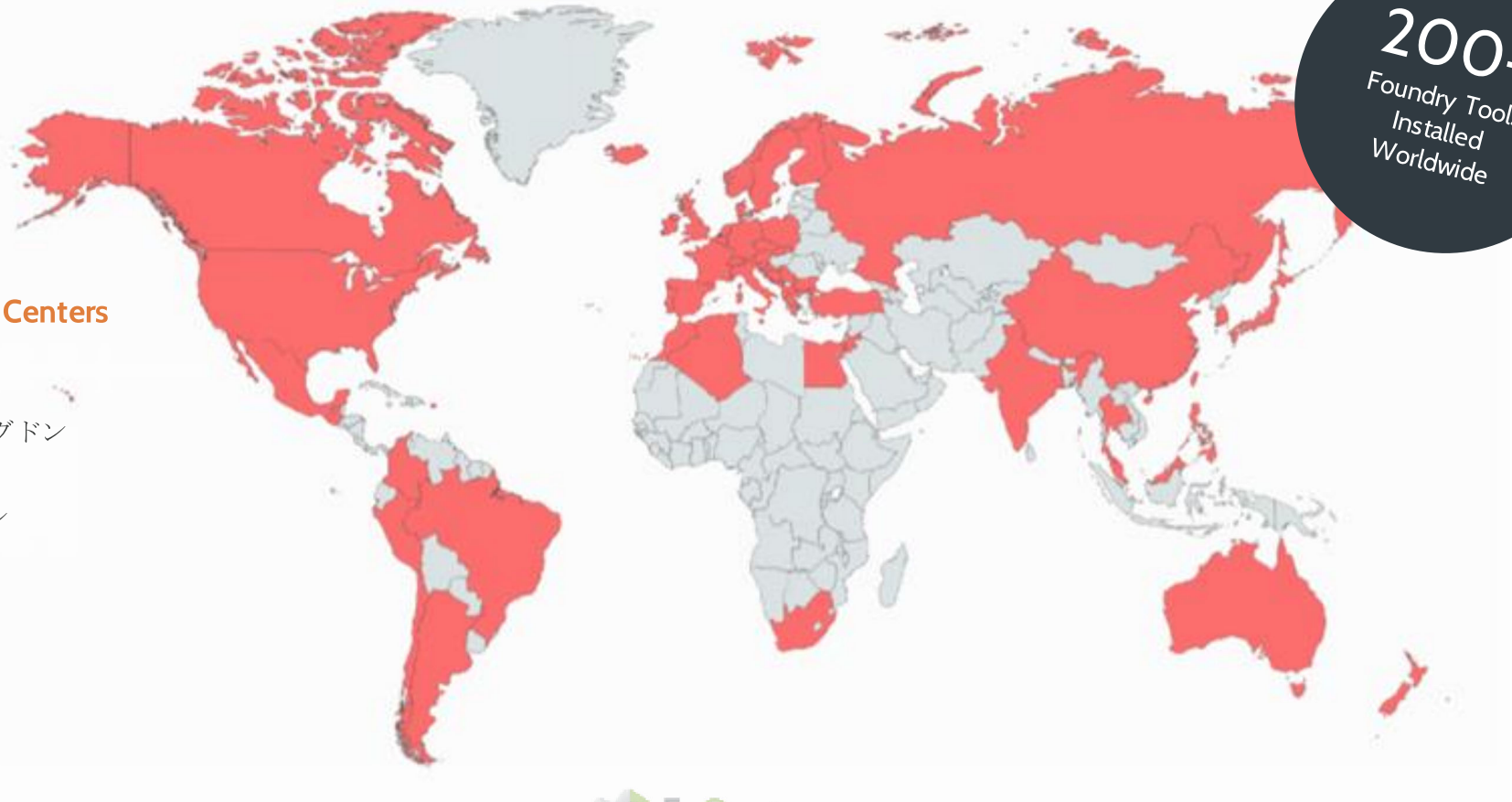
200+
Foundry Tools
Installed
Worldwide

ExOne Adoption Centers

米国
ペンシルバニア州
ノースハンティントン

ヨーロッパ
ゲルストホーフェン
ドイツ

アジア
神奈川県小田原市
日本



バイндаジェット式3D造形の4つの主要ソリューション

BJ式3D造形は、付加価値の高い複雑形状の部品をより迅速に提供し、コストと時間を大幅に削減します

鋳造用の3D鋳型と中子



従来数週間～数か月かかっていた複雑な鋳型を数日間で製造。砂型鋳造の木型レス製造

金属3D造形



複雑な単一合金金属部品の試作そして小型部品の生産にかかる時間を大幅に短縮

セラミック3D造形



炭化ケイ素などのセラミック材料を原料とする、複雑な製造工程を簡略化

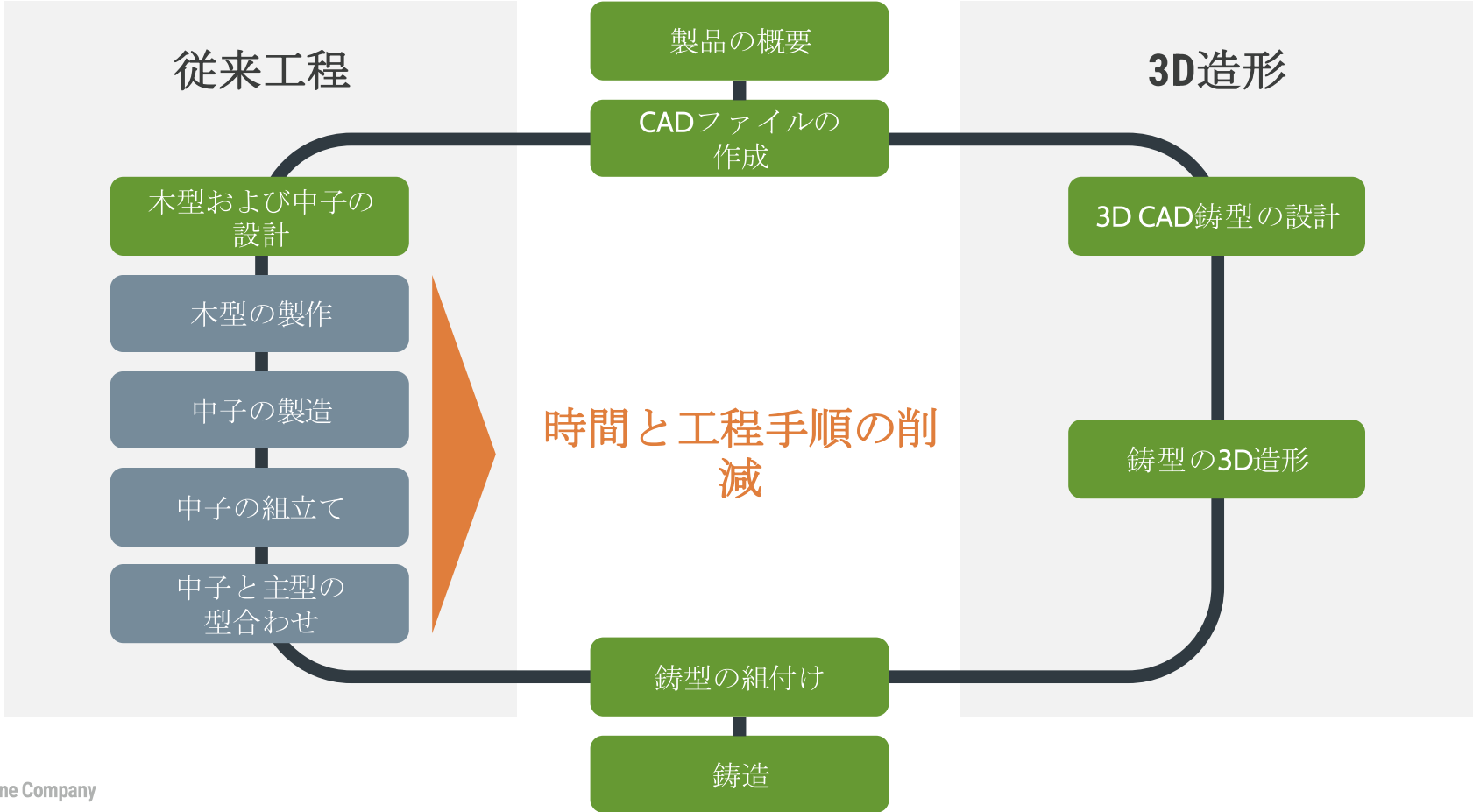
3D造形による その他のソリューション



真空成形・液圧成形などのための治具や、鋳造とは異なる複雑形状部品の成型

鋳型製造における従来工程と3D造形の比較

試作における木型を不要とする工程



砂型3D造形 | メリット

短納期、設計変更の自由度

OEMや鋳造工場にとってのメリット。数週間かかっていた鋳造工程を数時間または数日に短縮。木型や鋳型制作にかかる工数コストを削減。製品における新たな可能性。

速さ

短納期

- ▶ 数時間または数日で主型と中子を納入。一方、従来型の製造による主型や中子では数週間から数か月が必要な場合も
- ▶ 形状の複雑さに左右されない

工数の節約

木型・主型・中子製造にかかる工数を削減

- ▶ コアシューターと比較し中子製造にかかる工数を削減し、低コストで複雑な中子を提供
- ▶ コアシューターから取出した後の中子の追加補修が不要

木型の保管が不要

物理的な在庫不要、デジタルによる簡単な保存

- ▶ コアシューター用の木型や主型の保管が不要
- ▶ 在庫を削減して、工場空間を拡大
- ▶ 劣化した木型や主型の修繕が不要
- ▶ 木型紛失の問題がない

迅速な設計変更

コスト負担の少ない設計の変更

- ▶ 既存の木型を廃棄したり、コアシューター用の木型や主型を新たに作成することなく、設計変更に対応
- ▶ 時間と費用を抑え、工数を削減。
- ▶ リスクの少ない設計変更が実現

設計の自由度

製品だけではなく鋳型方案の対しても容易に設計変更が可能

- ▶ 3D造形では製品設計だけでなく鋳型方案設計の自由度も上がり、高品質な鋳造が実現
- ▶ 方案の自由設計により、鋳造方法の変更にも対応可能

ExOne | 小田原工場

3D造形技術による砂型鑄造を包括的にサポート

ExOne小田原工場は、従来工法と3D造形を活用した工法の両方において、高レベルの知識を備えています。

全方向のサポート

- ▶ メーカー
- ▶ 鑄造工場
- ▶ 木型
- ▶ 設計者



CAT-技術推進部

- ▶ 鑄造品質を高めるための技術サポート
- ▶ さまざまな業界での幅広い経験
- ▶ お客様のご要望に合わせた特殊な案件のサービスを提供

EAC-造形部

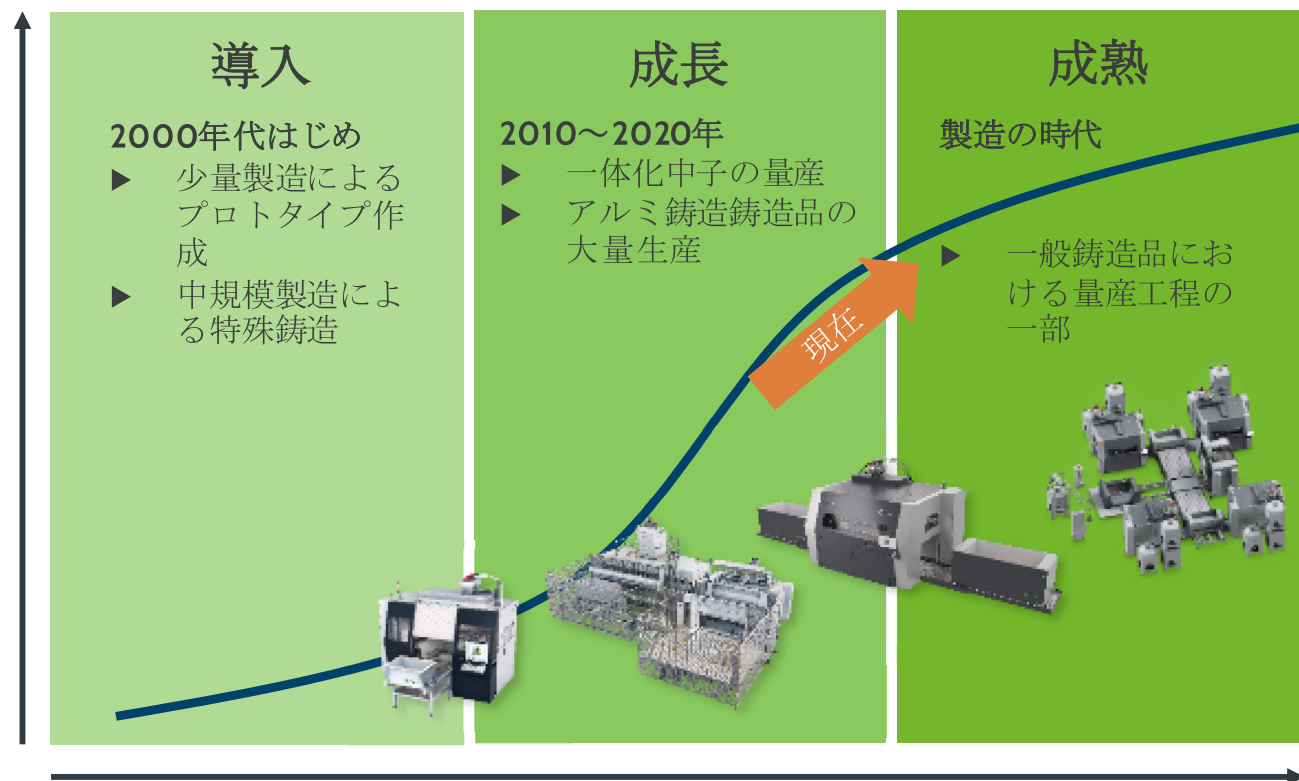
- ▶ ExOneの3D造形を体験していただく最初の窓口
- ▶ お客様のご要望の分析
- ▶ さまざまなバインダシステムと骨材によるテスト造形
- ▶ 既存工程への統合のお手伝い

砂型3D造形|技術の変遷

成熟した技術となり、プラグアンドプレイの製造にも対応

製造に対応

- ▶ 大型システム
- ▶ 高速化
- ▶ バインダの柔軟性
- ▶ 自動砂除去
- ▶ プラグ&プレイの性能
- ▶ 設備の統合
- ▶ スマートモニタリングおよびリモート制御
- ▶ アルミ castingのための低ガス無機バインダ



製造業における
砂のバインダージェット式**3D**造形

砂型3D造形|設備のスケールアップ

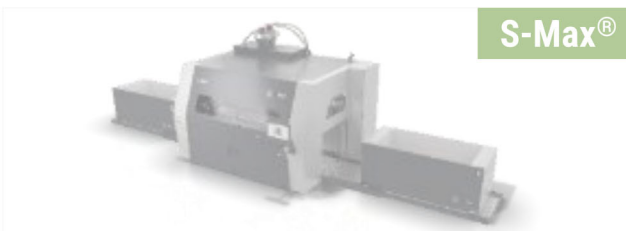
主型・中子用のバイндаジェットイング

NEW



S-Print

- ✓ 短納期試作
- ✓ 製品開発
- ✓ 短納期製造



S-Max®

- ✓ 短納期試作
- ✓ 製品開発
- ✓ 短納期製造
- ✓ 連続製造



S-Max® Pro

- ✓ 短納期試作
- ✓ 製品開発
- ✓ 短納期製造
- ✓ 連続造形
- ✓ ExOneのすべてのバイндаに対応

高速かつフレキシブルで信頼性の高いコンパクトな砂型3Dプリンタ。2005年よりデジタルデータから高精度で複雑な部品を製造

信頼性の高い性能に定評のある大型で頑丈な砂型3Dプリンタ。ダブル造形ボックスのオプション。2010年より低温硬化バイндаの印刷。

弊社最速かつ最もスマートな大型砂型3Dプリンタ。刷新されたプリントヘッドとリコータ。革新的な追加機能。2019年に導入。

主な仕様
造形ボックス (LxWxH) : 800 x 500 x 400 mm
積層ピッチ* : 0.26~0.38 mm

主な仕様
造形ボックス (LxWxH) : 1,800 x 1,000 x 700 mm
積層ピッチ* : 0.26~0.38 mm

主な仕様
造形ボックス (LxWxH) ** : 1,800 x 1,000 x 700 mm
積層ピッチ* : 0.24~0.38 mm

| バイндаシステム | フラン | CHP | HHP | IOB |
|-----------|----------|----------|----------|----------|
| 造形速度*** | 最高39 l/h | 最高17 l/h | 最高15 l/h | 最高25 l/h |

| バイндаシステム | フラン | CHP |
|-----------|-----------|----------|
| 造形速度*** | 最高100 l/h | 最高60 l/h |

| バイндаシステム | フラン | CHP | HHP | IOB |
|-----------|-----------|----------|----------|----------|
| 造形速度*** | 最高125 l/h | 最高70 l/h | 最高40 l/h | 最高80 l/h |

* 材料により異なります

© 2021 The ExOne Company ** ボックスインボックスシステムで400 mmの場合



*** 造形ボックスの使用状況、砂のタイプ、積層ピッチ、解像度、環境条件により異なります

産業用AM製造に対応したS-Max Pro



Siemensの技術によって実現するメリット



進化した産業用プリントヘッドとリコータ

Siemensの最新の産業用コントローラ技術とIoT機能は**Siemens MindSphere®**、**Industrial Edge®**、**PM Quality® SW**によって実現

一部のシステムが必要とする後処理（熱処理）工程用のボックスインボックスシステム

- ▶ 統合された**Siemens Industry 4.0**の企業向けシステム：制御、駆動、HMI、モニタリングシステム、エネルギー管理
- ▶ Siemensの**MindSphere®**によりExOneが**リモート工程制御用X1 Scoutアプリ**などの新たなクラウドベースのサービスを提供
- ▶ **工程品質保証**に関してお客様からのご要望が大きい、フィールドデータ処理向けのSiemensの**Industrial Edge®**コンピューティング
- ▶ **Siemens PM Quality® SW**は、造形から造形へのデータ分析と**静的な工程最適化**のために長期的な造形データの履歴を**SQLデータベース**に保存
- ▶ Siemensの**Digital Twin**技術により物理的なマシンを必要しない、労力を**30%抑えたより迅速なソフトウェアの開発試作**に貢献



無機バインダが変える未来

砂型3D造形| バインダと骨材

- 有機
- 溶剤
- 水
- 無機

FB002J - フラン
鉄、非鉄金属、鋼



造形 +

マイクロ波
加熱炉

乾燥炉

FB901 - 無機
アルミ



FB103J - フェノール
(熱硬化HHP)
鉄、非鉄金属、鋼、銅



FB201H - フェノール
(低温硬化CHP)
鉄、非鉄金属、鋼、銅



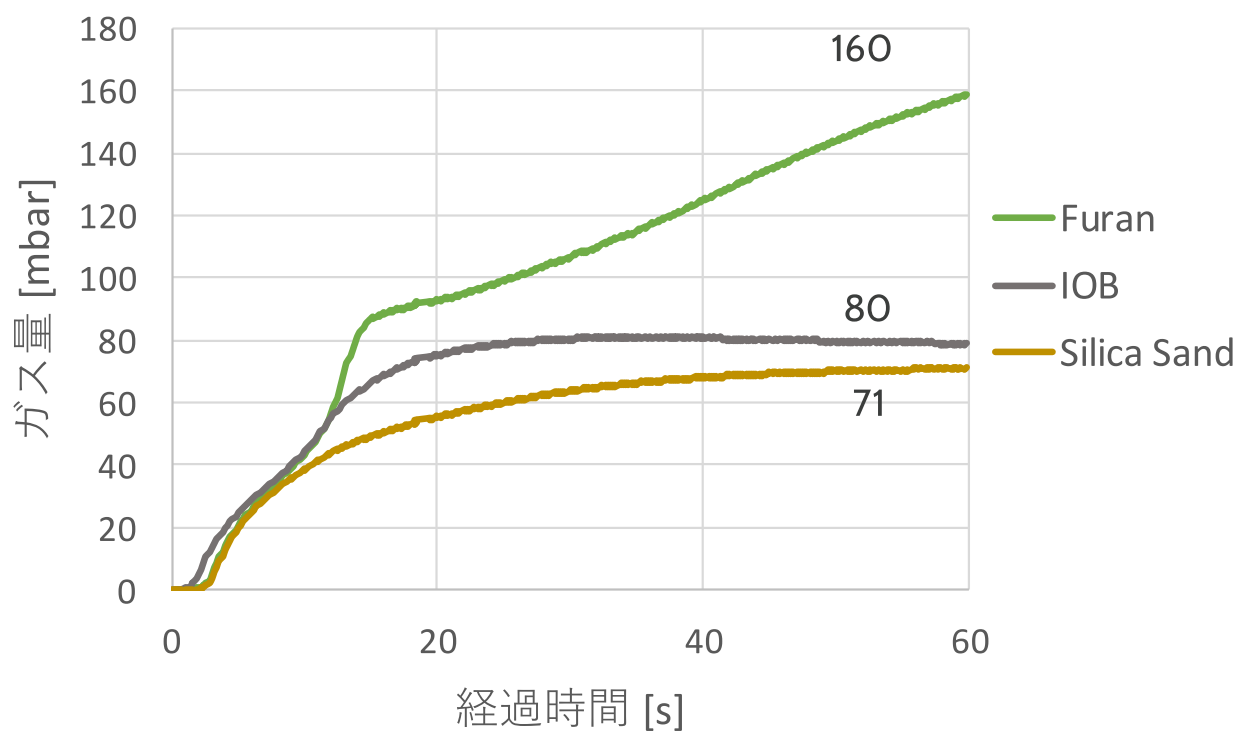
無機3D造形のメリット

1. 低ガス排出
造形および製品歩留まり向上
2. 環境に配慮した鋳造工場のサポート
環境に配慮した消耗品の取り扱いと保管
3. 大幅なコスト削減
 - ▶ 自動デパウダリング（余剰砂除去）
 - ▶ 仕上げ時間の短縮
 - ▶ 造形毎装置クリーニングの簡略化
 - ▶ 取出し、仕上げ、点検、保管までの完全自動ロボットラインに対応可能



無機3D造形のメリット

850°Cのガス発生量比較



イグロス値比較

フラン： 1.3～2.1%
※設定により異なります

IOB： 0.5%未満

珪砂自体： 0.2～0.3%

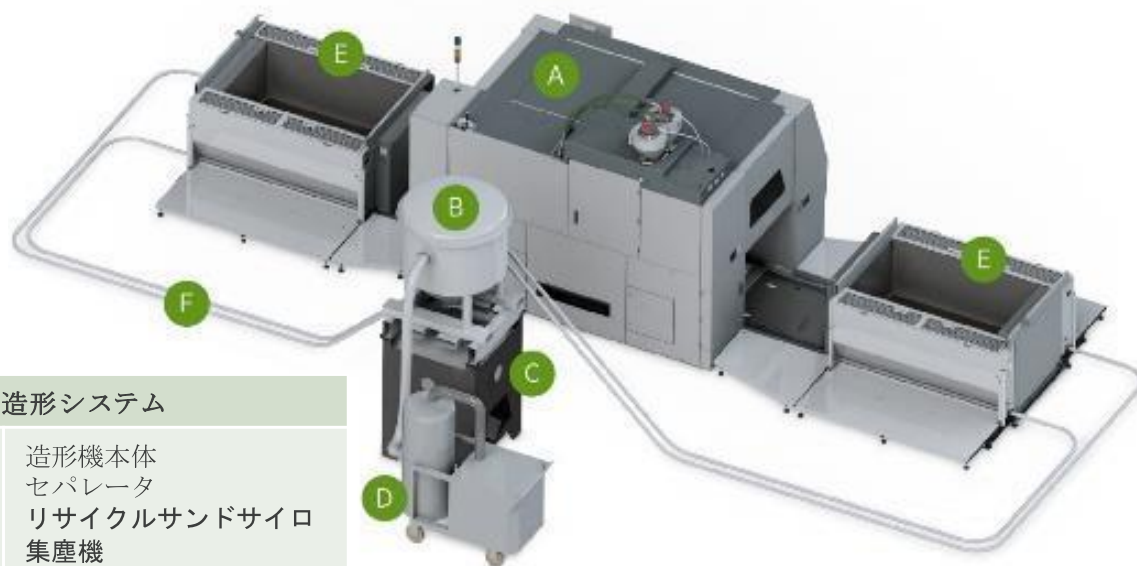
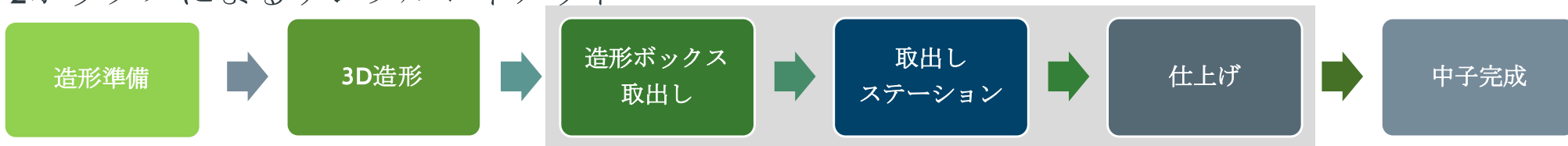
珪砂自体のイグロス値と比較して同等、つまりIOB自体のイグロスは0.2%程度と考察される



無機造形工程のフロー

フランバインダの標準工程

2ボックスによるサンプルレイアウト



3D造形システム

| | |
|---|-------------|
| A | 造形機本体 |
| B | セパレータ |
| C | リサイクルサンドサイロ |
| D | 集塵機 |

デパウダリング

| | |
|---|-----------|
| E | 取出しステーション |
| F | 吸砂パイプ |

メリット:

- ▶ シンプルなステップ：自硬性で二次焼成不要
- ▶ 造形後2時間程度で取出し可能
- ▶ 鋳鉄にも対応可能

デメリット:

- ▶ 自硬性のため砂が張りつきやすく、仕上げに手間がかかる
- ▶ 注湯時のガス発生量が多く、ガス欠陥が出やすい
- ▶ フルフルアルコールが含まれるため、規制上の制約が増える

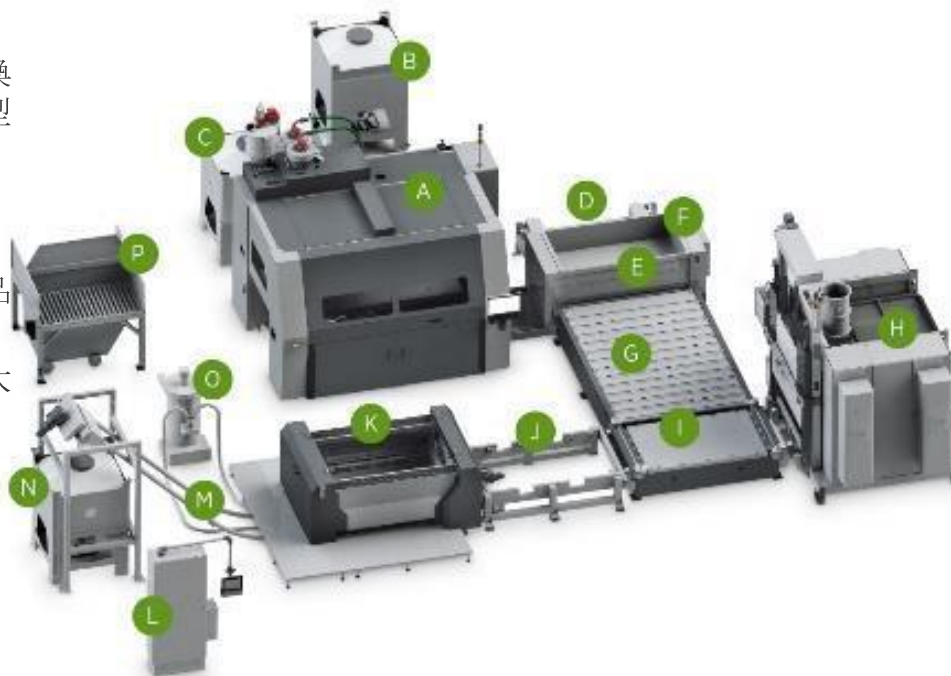
無機バインダの標準工程

ボックスインボックスによるサンプルレイアウト



フラン工程との違い：

- ▶ 後工程への運搬を考慮した交換可能なボックスインボックス型造形ボックス
- ▶ マイクロ波での加熱硬化
- ▶ 自動砂除去ステーション
※造形ボックス内で必要な部品が1段のみの場合
- ▶ 仕上げの簡素化による工数の大幅削減



3D造形システム

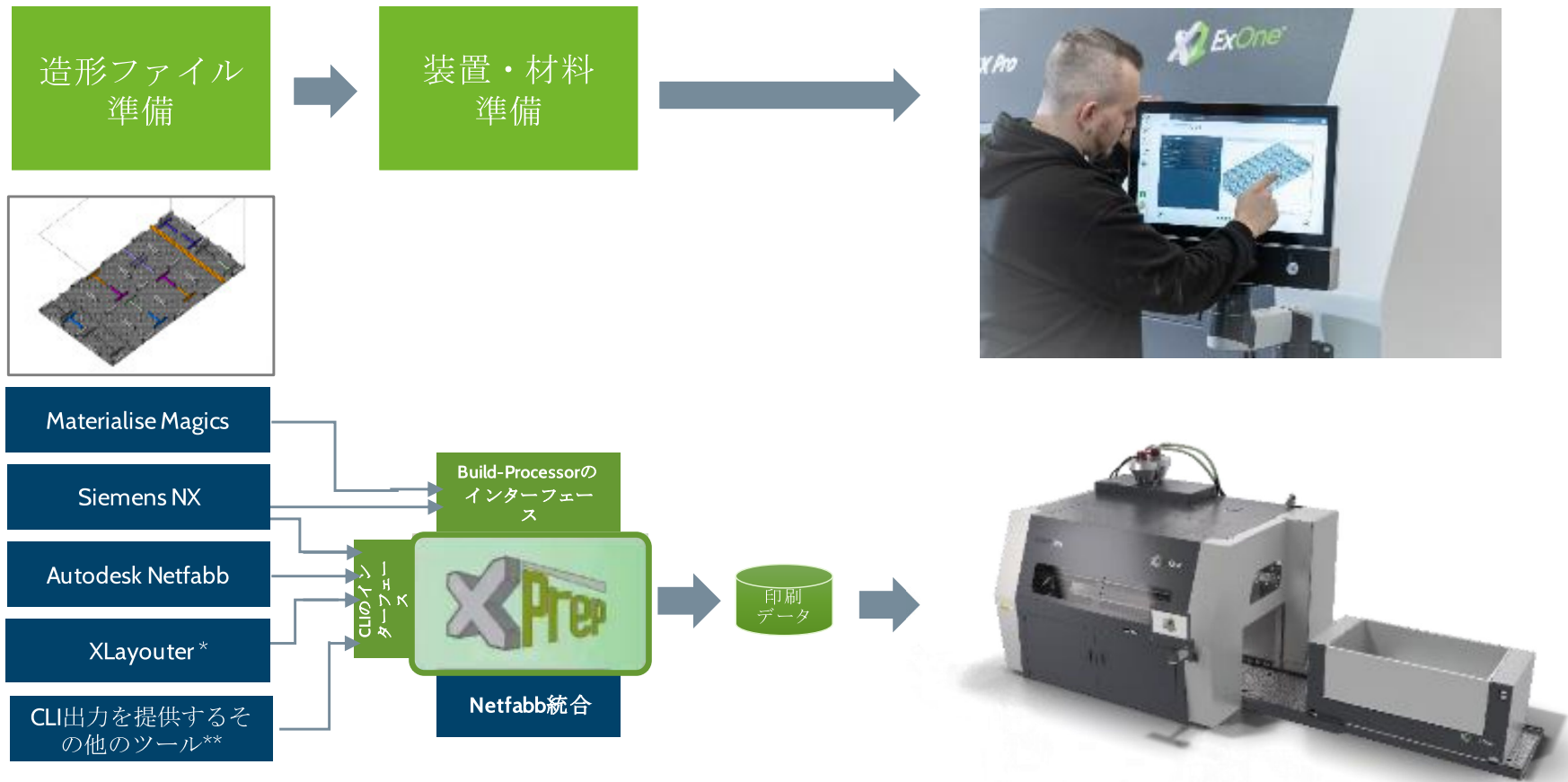
| | |
|---|---------------|
| A | 造形機本体 |
| B | 砂サイロ (新砂) |
| C | 砂サイロ (リサイクル砂) |
| D | 搬送ステーション |
| E | 造形ボックス |
| F | シャトル |
| G | コンベア |
| H | マイクロ波加熱炉 |
| I | 搬送ベルト |

デパウダリング

| | |
|---|--------------|
| J | 輸送モジュール |
| K | デパウダリングモジュール |
| L | 分電盤 |
| M | スクリーコンベア |
| N | リサイクルサンドサイロ |
| O | 集塵機 |
| P | 仕上げ作業台 |

無機バインダの標準工程

造形準備



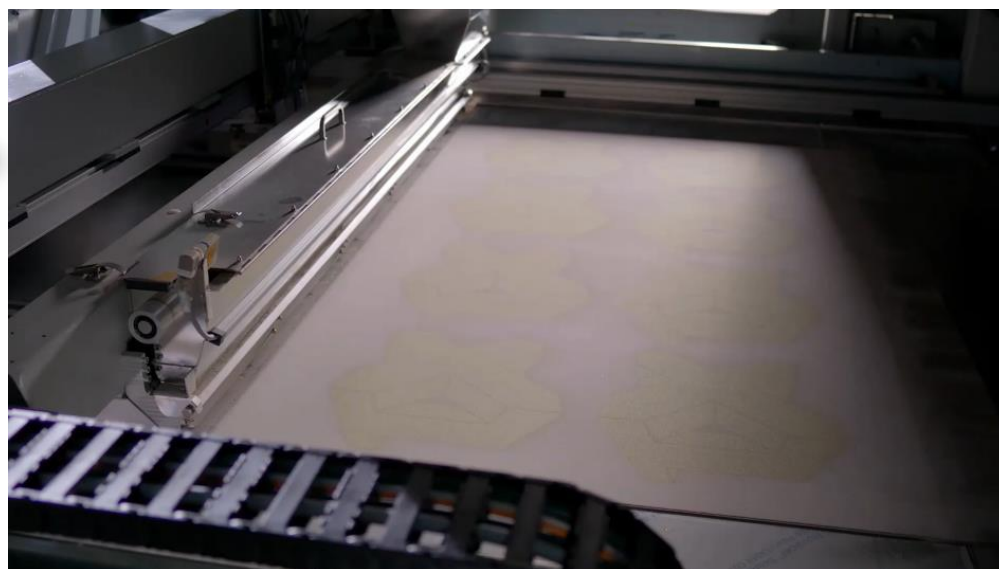
無機バインダの標準工程

3D造形

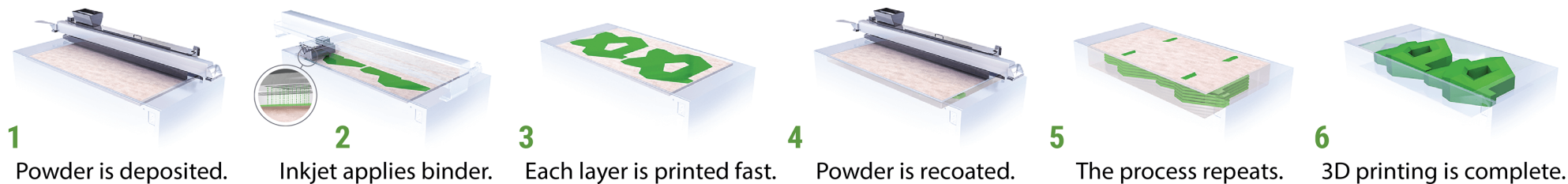


無機のメリット

- ▶ ガス発生量減による歩留まり向上
- ▶ 環境に配慮した鋳造工場
- ▶ 工数コスト削減



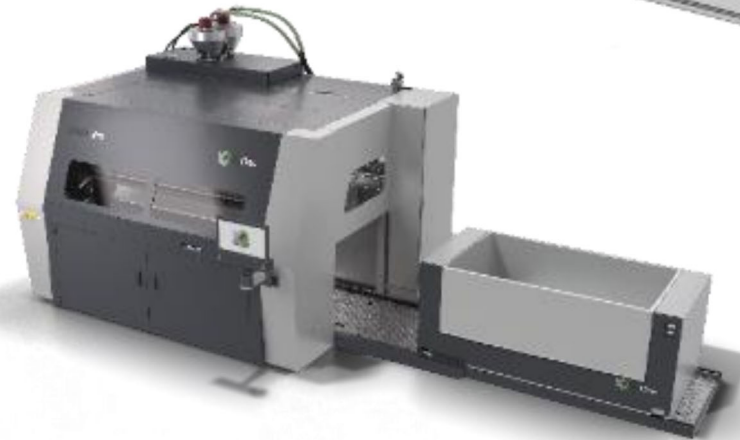
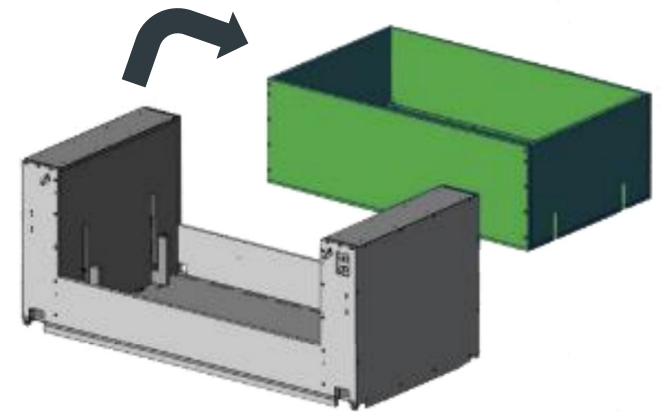
3Dバインダジェット印刷



S-Max Pro | ボックスインボックス

造形ボックス
取出し

- ▶ パフォーマンス向上のための交換可能な造形ボックス
 - ▶ 連続造形のための迅速なボックスの交換
 - ▶ ボックスインボックスのフォーマット
1,800L x 1,000W x 400H (mm)
 - ▶ 自動デパウダリングのための穴開きベースプレート
- ▶ すべてのバインダシステムに対応
 - ▶ IOB、HHP、CHP、フラン
- ▶ IOBおよびHHPの特殊工程
 - ▶ オフラインのマイクロ波硬化



マルチバインダ機能
機械稼働率の向上

無機バインダの標準工程

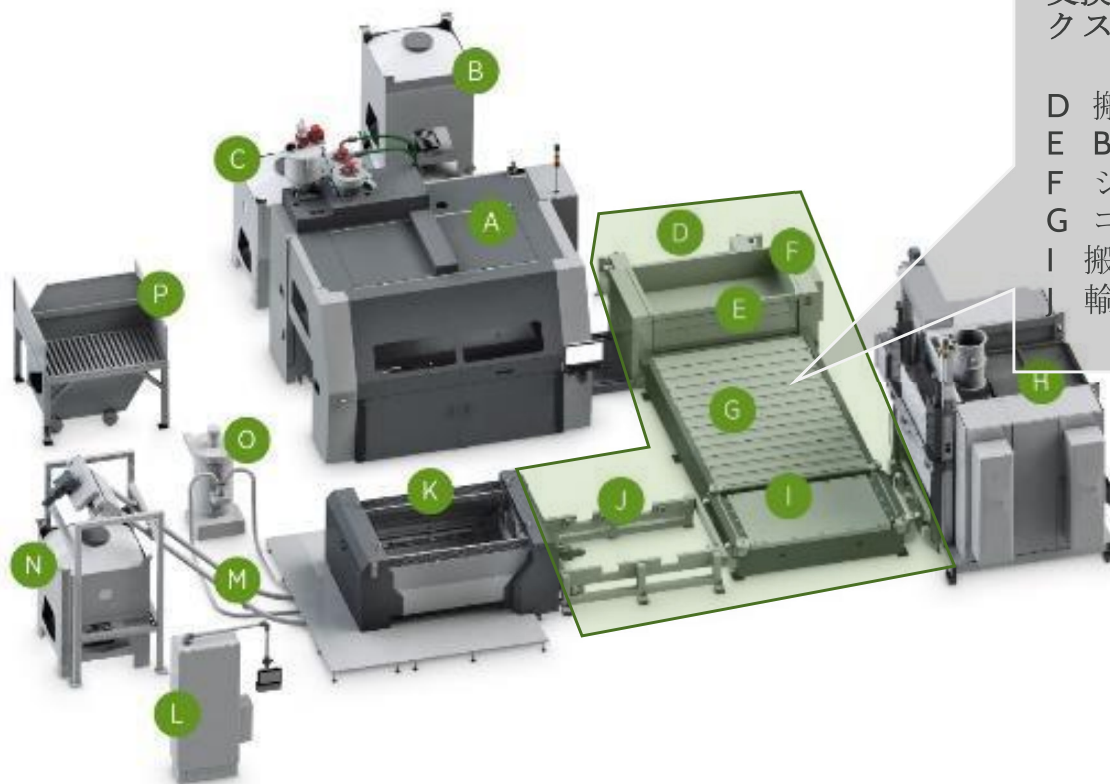
造形ボックス
運搬

3D造形システム

- A 造形機本体
- B 砂サイロ (新砂)
- C 砂サイロ (リサイクル砂)
- D 搬送ステーション
- E 造形ボックス
- F シャトル
- G コンベア
- H マイクロ波加熱炉
- I 搬送ベルト

デパウダリング

- J 輸送モジュール
- K デパウダリングモジュール
- L 分電盤
- M スクリューコンベア
- N リサイクルサンドサイロ
- O 集塵機
- P 仕上げ作業台



後処理に対応する搬送による
交換可能なボックスインボ
ックス

- D 搬送ステーション
- E BIB造形ボックス
- F シャトル
- G コンベア
- I 搬送ベルト
- J 輸送無ジュール

無機バインダの標準工程

マイクロ波
加熱硬化

マイクロ波硬化：

1. バインダ中の水分を蒸発させるため
→ 約120°Cが目安
2. 造形ボックス全体を処理
3. 類似サイズの部品を1回の造形で充填
4. 珪砂の使用が標準、人工砂も対応可
5. 半充填の造形ボックスの硬化に約30～40分

オーブン工程と比較した場合のメリット

- ▶ サイクルタイムの大幅な高速化
- ▶ 部品全体が完全に硬化
- ▶ 加熱時の変形を最小限に抑制



無機バインダの標準工程

自動デパウダリングステーション：

- ▶ 底部プレートに穴が開けられており、その穴から砂が落ちる仕組み
- ▶ 中子取出しのための自動デパウダリング

付加価値：

1. OEEの増加

- ✓ 完全自動化工程によりリサイクル砂も素早く回収
- ✓ デパウダリングの人件費を最大で**95%**削減し、所要時間も**90分**から**3分**までに短縮
- ✓ 手作業による取出しに比べて中子損傷のリスクが軽減され、歩留まりが向上

2. 人間工学と安全衛生の向上

- ✓ 人間工学に基づいた中子の取出しより作業者の身体的負担が大幅に軽減
- ✓ 塵肺リスクの削減

3. ロボット支援による中子の取り外しおよび仕上げの完全自動化による将来的な拡張も可能



動画



無機バインダの標準工程

仕上げ

メリット

- ▶ フラン工程と比べて極めて簡単
- ▶ 必要なもの：
 - ▶ 最高**0.8 bar**の圧縮空気
 - ▶ 柔らかいブラシ
- ▶ 仕上げ後の無機中子は優れた表面品質とエッジの鋭さが特徴

| バインダ | 無機 |
|-------------|-------------|
| 空気圧 (平らな表面) | 0.2~0.8 bar |
| 空気圧 (穴) | 0.1~0.2 bar |
| 距離 | 最小 20 cm |

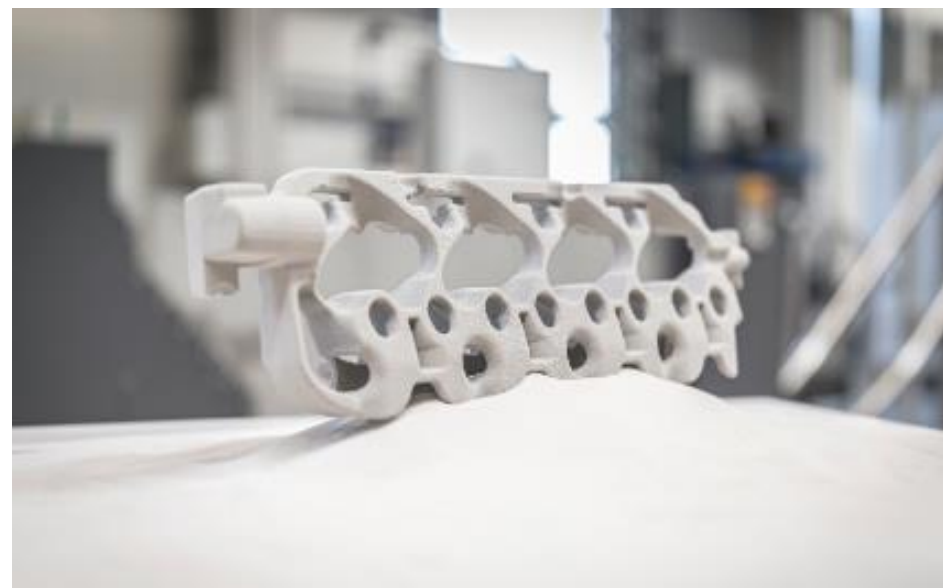


無機バイндаの標準工程

完成中子

一般的な部品仕様

- ▶ 一般的な抗折力：250～400 N/cm²
- ▶ 抗折力は印刷解像度の設定により調節可能
- ▶ アルミ鑄造には十分な熱間強度
- ▶ 寸法的精度：±0.3～0.5 mm
形状により異なる場合があります



| 解像度 [mm] | AD901追 加 [%] | 曲げ強度 [N/cm ²] | | 高温曲げ強度 [s] |
|-------------|-----------------|---------------------------|-----|------------|
| | | X方向 | Y方向 | X方向 |
| 0.10 | 0.00 | 330 | 280 | 39 |
| | 1.00 | 270 | 220 | 55 |
| 0.11 | 0.00 | 270 | 220 | 40 |
| | 1.00 | 240 | 200 | 60 |
| 0.12 | 0.00 | 240 | 200 | 37 |
| | 1.00 | 220 | 180 | 64 |
| 0.13 | 0.00 | 210 | 175 | 30 |
| | 1.00 | 190 | 170 | 62 |

*FS001に基づく結果

無機バインダの標準工程

保管

正しい保管と輸送：

- ▶ 硬化した中子は吸湿性があるため、良好な結果をえるためにはすぐに使用するか乾燥した環境で保管
- ▶ 温度の上昇よりも湿度が上昇することにより強度が早く低下
- ▶ そのため、相対湿度**40%**以上での保管は避ける
保管温度は**30°C**以下
- ▶ 中子に変形しないよう、保管時には均等にバランスよく支える必要に応じて発泡体のサポートを取付け
- ▶ 輸送には気密性輸送ボックス内の水分を最小限に抑えるため、乾燥剤バッグが必要



保管



展望：無機**3D**造形のロードマップ

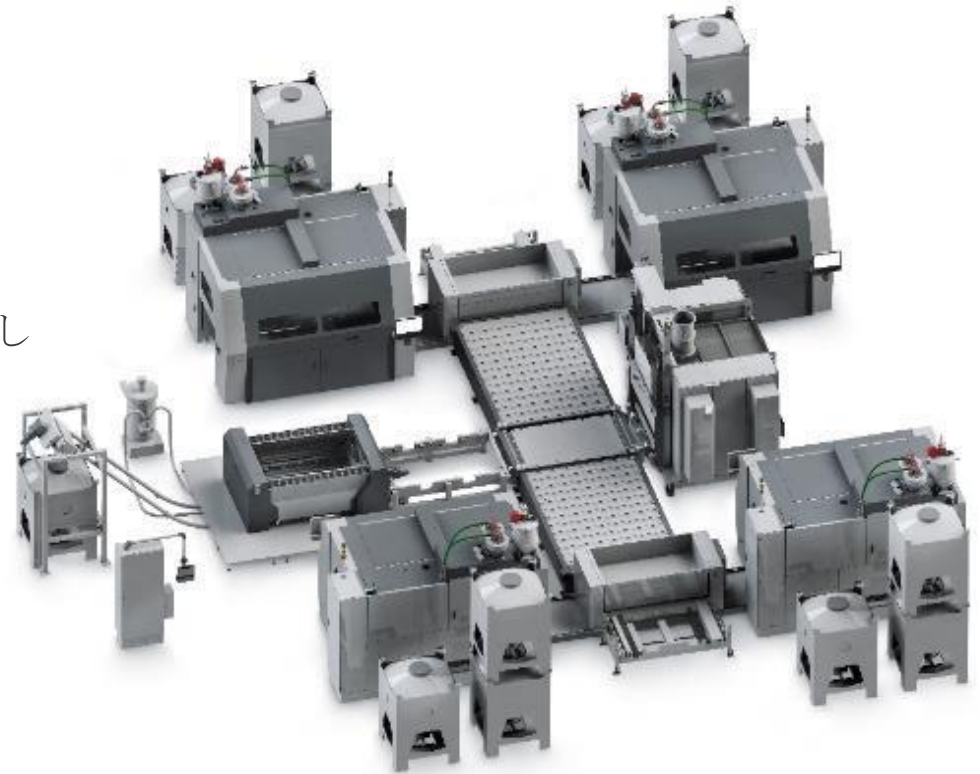
無機3D造形のメリット

1. 低ガス排出
造形および製品歩留まり向上
2. 環境に配慮した鋳造工場のサポート
環境に配慮した消耗品の取り扱いと保管
3. 大幅なコスト削減
 - ▶ 自動デパウダリング（余剰砂除去）
 - ▶ 仕上げ時間の短縮
 - ▶ 造形毎装置クリーニングの簡略化
 - ▶ 取出し、仕上げ、点検、保管までの完全自動ロボットラインに対応可能



ロードマップ：中子の量産に向けて

- ▶ **スケールアップ**
1式のマイクロ波加熱炉と自動デパウダリングステーションで、最大4台の造形機に対応可能
- ▶ **完全ロボット化による中子の自動ハンドリング**
 - ▶ 自動デパウダリングステーションからの取り出し
 - ▶ 仕上げ
 - ▶ 3Dスキャン（寸法検査）
 - ▶ 保管
 - ▶ 主型への組付け
- ▶ **熱間強度の向上**
高温鋳造に対応する新型無機バインダシステム





ご清聴ありがとうございます

皆様のご意見をもとに、引き続き鑄造業界の発展のため、新たな取り組みを継続していきます

お問い合わせ：

株式会社**ExOne**

神奈川県小田原市羽根尾**161-5**

TEL: 0465-44-1303



担当：佐藤大輔、佐藤克右（ヨシカ）



オンラインセミナー
(株)ExOne

詳細情報



 [/ExOne3D](#)
 [/exone.com](#)