平成 27 年度茨城大学工学部技術部研修報告会
2016 年 3 月 18 日

「材料系ものづくり教育プログラムの開発」

マテリアル工学科　講師　田代　優

１．はじめに

マテリアル工学科の教育理念・目的はマテリアル工学の基礎から応用までを一貫して教育するプログラムを通じて、「産業社会の新しい需要に応えるマテリアル工学技術者を養成すること」である。この目的を達成するために、学習・教育目標を掲げ、旧カリキュラムからの大幅な教育改善を実施してきた。今回は、教育改善によって開発を行った教育プログラム（「マテリアルデザイン」および「マテリアル実験」）とプログラム中で利用している「たたら製鉄」について紹介したいと思う。

２．「マテリアルデザイン」の開発

材料系学生に製図の読み書きから機械加工による製品作製までを「一気通貫」で体験・学修させることによって JABEE が推奨している「エンジニアリングデザイン教育の向上」をめざしたものづくり教育プログラムの開発を行なった。「マテリアルデザイン」では、2 年生・前期に「もの（製品）」を実際に素材から作ってみる体験を行った。具体的には、「もの」を設計・製図・製造（機械加工）の各工程を追いながら、一気通貫に体験させることである。設計については、ごく初歩の考え方について講義形式で紹介を行った。製図については JIS の機械製図通則の基礎を講義形式で学修してもらい、引き続いて内容に沿った課題について鉛筆製図実習を行うことでより理解を深める形式で実施している。機械製図の到達目標として、①機械製図の基礎である図法と日本工業規格に基づく標準機械製図法を理解できる、②機械製図の規格を理解し、簡単な機械部品の読図や作図を行なえることを設定している。また、機械加工では、「工学部ものづくり教育研究支援ラボ（以下、ものづくりラボと略す）」の支援の下、7 回にわたって旋削加工、平面加工、仕上げ加工、組み立てを実施している。ものづくりラボ技術職員らとの検討の結果、上記の加工を万遍なく網羅した課題としてミニ万力の作製を課題として設定し、加工実習のテキストの作成を行った。この「マテリアルデザイン　機械加工実習編テキスト」は、生協を通して印刷・販売を行っており、使用した学生および OB からも非常に高い支持を受けている。機械加工実習の到達目標は、③機械加工および仕上げ加工の基礎原理や加工技術を修得し、理解・説明でき、④修得した技術で課題作品を作製できることを設定している。

３．「マテリアル実験」の開発

3 年後期に実施する「マテリアル実験」は、材料系の座学の理解を深めるための 9 回の個別テーマ実験と「たたら製鉄実験」から構成される。たたら製鉄実験では、例年こうがく祭で開催している「たたら製鉄」のノウハウや製鉄所（高炉式製鉄）見学および座学で得た知識をもとに、グループで七輪を炉材として用いて「鋼」の作製を行う 6 回（6×3 講時）にわたるプログラムである。「たたら製鉄実験」のスケジュールは、1 回目がガイダンスおよび「たたら製鉄」の紹介やこれまで学生実験で得られた知見の紹介する講義を実施し、その後グループメンバーの役割分担も行っている。2 回目は、学生各自が行った文献調査結果等をもとに、グループごとに効率よく・多く・大きな鋼塊を得られるように工夫を凝らすグループワークを実施し、その際に準備や操業計画の企画立案や必要な物品のリストアップを実施した。3 および 4 回目は、2 回目に立案した計画に従って炉の作製、木炭の加工、砂鉄の調整などを実施した。5 回目は天候が許せば、操業日となり、早朝から築炉や準備を行い夕方までに操業を終えるということになる。6 回目は、天候不良時の予備日や操業後の後片付けやデータ整理の日程としている。また、実験終了後には、各グループにて口頭およびポスターによる発表会を実施し、複数の教員等からの評価を受け、また各自はレポートを提出してこれを個人成績として評価を受ける。本実験の到達目標は、①プロジェクト目標達成のための計画や操業方法におけるコミュニケーション能力、②技術者としてのプロジェクトを計画・推進し総括する能力、③問題解決のために種々の情報や科学技術に関する知識を総合判断できる能力の育成であり、グループで「答えなき解」へ挑戦する力の涵養を目指している。

４．マテリアル工学科における本プログラムの変遷

2007～2009 年度前期・2 年生必修・マテリアル実験Ｉ（製図（全 6 回×2 コマ））
2010 年前期・2 年生必修・マテリアル実験Ｉのマテリアルデザイン先行試行開始
2011 年度前期・2 年生必修・マテリアルデザイン実施開始
2012 年後期・3 年生必修・マテリアル実験「たたら製鉄実験」開始

５．実績

製図：10 年間（延べ 350 名受講）
機械加工実習：7 年間（延べ 250 名受講）
たたら製鉄実験：5 年間（延べ 175 名受講）
H22 年度教育改善経費（設備枠）採択：旋盤 2 台の更新
H23 年度教育改善経費採択：ものづくり教育へのたたら製鉄の適用

６．謝辞

この教育改善過程においては技術部、特に「ものづくり教育研究支援ラボ」の職員諸氏およびマテリアル関係技術職員に多大なるご支援・ご協力を得た。まず冒頭に深く感謝を申し上げたい。

「材料系ものづくり教育プログラムの開発」

茨城大学マテリアル工学科
講師　田代　優

目　次

- マテリアル工学科のJABEE対応
- マテリアルデザインの開発
- マテリアル実験「たたら製鉄実験」の開発
- まとめ

マテリアル工学科のJABEE対応

受審:2014年度

Ⅰ．教育理念

　新しい機能や性質を持つ新材料（マテリアル）の開発と工学への応用は「マテリアル工学」として社会基盤を支える最も重要な分野となっています。地球環境に配慮した再生可能エネルギーへの転換、エネルギー供給の低炭素化、エネルギー利用の効率化・スマート化などの グリーン・イノベーションを達成するために必要不可欠な革新的マテリアルを創生することは、人類の持続的発展のために急務となっています。本学科では、マテリアル工学の基礎から応用までを一貫して教育するプログラム「マテリアル工学科」を通じて、産業社会の新しい需要に応えるマテリアル工学技術者を養成し、わが国の持続的発展に寄与します。

Ⅱ. 教育目的

　マテリアル工学の基礎を十分に習得し、応用開発へ展開可能な材料技術者を養成することを本学科の目的とします。

　この目的達成のために、Ⅲに示す学習・教育目標を立て、各項目を効果的に修得できるカリキュラムを構成します。

Ⅲ.学習・教育目標

A. 人と地球を考慮したマテリアル工学技術について考える能力の修得

B. 技術者倫理と社会責任への対応と理解

C. マテリアル工学技術者に必要な数学、物理、情報処理に関する基礎知識とその応用能力の修得

D. マテリアル工学の専門知識とその応用能力の修得

- D－1. マテリアルの構造・性質に関する基本の理解
- D－2. マテリアルのプロセスに関する基本の理解
- D－3. マテリアルの機能および設計・利用に関する基本の理解
- D－4. 実験の計画・実行およびデータ解析の能力

E. 問題解決のために種々の情報や科学技術に関する知識を総合判断できる能力の修得

F. 日本語で論理的に表現・発表し討論する能力ならびに英語によりコミュニケーションするための基礎能力の修得

G. 自主的、継続的に学習する能力の修得

H. プロジェクトを計画・推進し総括する能力の修得

I. チームを組んでプロジェクトを遂行する能力の修得

？！

チームワークとグループワーク？

グループワーク
（仲間、集団）

- 同じスキルで同じ作業をするメンバーで構成
- グループのパフォーマンスは、個人の成果の総和
- マネージャーが必要

チームワーク
（目的のために協力して行動するグループ）

- スキル・役割の異なるメンバーで構成
- メンバー個々のスキルを最大限利用し、その相乗効果で目的目標を達成
- メンバ全員で目的に向かうため、個々の長所を活かすリーダーが必要

「まとまり」が重要！

「目的」が重要

同じ専門：同学科内活動

- 普通の学生実験
- 学科内のグループワーク
- ブレインストーミング

異分野グループの集合体
「茨城学」
理・工・農・人文・教育の学生で構成
しかも必修科目

活用方法次第では、
斬新な科目となりえる！！

文字色
黒：必修科目
青：選択必修A
赤：選択必修B
白：教養科目

マテリアル工学科のカリキュラム構成

卒業研究
(D-4, H, I)：◎,
(D-1, 2, 3, E, F, G)：○

マテリアル実験
(D-4)：◎, (E, G, I)：○

マテリアル工学演習
(D-1, 2, 3)：◎, (G)：○

数値実験
(D-1, 2, 3)：◎,
(G)：○

材料組織

材料プロセス工学
(D-1, 2)：◎, (G)：○

腐食・防食
(D-2)：◎, (G)：○

表面・界面工学
(D-2)：◎, (G)：○

結晶解析学
(D-1)：◎, (G)：○

材料物理化学Ⅲ
(D-2)：◎, (D-3, G)：○

環境工学
(A, D-2)：◎,
(B, G)：○

マテリアル輸送現象
(D-2)：◎, (G)：○

材料物理化学Ⅱ
(D-2)：◎, (G)：○

材料組織学Ⅱ
(D-1)：◎, (G)：○

材料物理化学Ⅰ
(D-2)：◎, (G)：○

材料組織学Ⅰ
(D-1)：◎, (G)：○

基礎物理化学
(D-2)：◎, (G)：○

材料強度

材料強度学
(D-3)：◎, (G)：○

塑性加工学
(D-3)：◎, (G)：○

結晶塑性学Ⅱ
(D-2)：◎, (G)：○

結晶塑性学Ⅰ
(D-1, 4)：◎, (G)：○

材料力学Ⅱ
(D-3)：◎, (G)：○

材料力学Ⅰ
(D-3)：◎, (G)：○

材料強度学入門
(D-1, 4)：◎, (G)：○

電子物性

アモルファス材料学
(D-2, 3)：◎, (G)：○

電子集積回路
(D-3)：◎, (G)：○

有機材料
(D-2, 3)：◎, (G)：○

材料電子物性
(D-2, 3)：◎, (G)：○

固体物性Ⅱ
(D-1, 3)：◎, (G)：○

固体物性Ⅰ
(D-1, 3)：◎, (G)：○

基礎電磁気学
(C)：◎, (G)：○

材料設計シミュレーション

数値計算法
(C)：◎, (G)：○

計算材料学
(D-1, 2)：◎, (C,G)：○

計算材料学基礎
(C)：◎, (G)：○

実験その他

材料工学学外実習
(D-4)：◎,
(A, B, E, G, I)：○

マテリアルデザイン
(D-4)：◎, (E, G, I)：○

物理学実験
(D-4)：◎,
(C, E, G)：○

専門基礎

線形代数Ⅰ
(C)：◎, (G)：○

線形代数Ⅱ
(C)：◎, (G)：○

数理統計
(C)：◎, (G)：○

応用数学Ⅰ
(C)：◎, (G)：○

数学解析Ⅱ
(C)：◎, (G)：○

数学・物理演習
(C)：◎, (G)：○

技術英語
(F)：◎

教養科目

微分積分Ⅰ
(C)：◎, (G)：○

微分積分Ⅱ
(C)：◎, (G)：○

物理学【力と運動】
(C)：◎, (G)：○

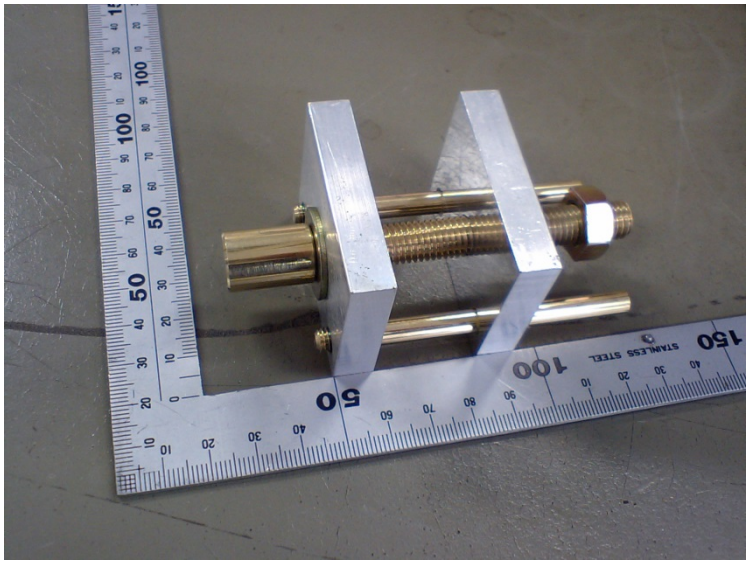
物理学【物理学概論】
(C)：◎, (G)：○

情報リテラシー
(C)：◎, (G)：○

主題別ゼミナール
(D-1,2,3, (E)：◎
(A), (B), (F～I)：○

技術者倫理
(B)：◎

マテリアルデザインの開発



マテリアルデザインとは？

材料系学生に製図の読み書きから機械加工による製品作製までを「一気通貫」で体験・学修させることによってJABEEが推奨している「エンジニアリングデザイン教育の向上」をめざしたものづくり教育プログラム

「マテリアルデザイン」では、2年生・前期に「もの（製品）」を実際に素材から作ってみる体験を行った。具体的には、「もの」を設計・製図・製造（機械加工）の各工程を追いながら、一気通貫に体験させること

設計・機械製図

　設計については、ごく初歩の考え方について講義形式で紹介を行った。
製図についてはJISの機械製図通則の基礎を講義形式で学修してもらい、引き続いて内容に沿った課題について鉛筆製図実習を行うことでより理解を深める形式で実施している。
機械製図の到達目標として、

1. 機械製図の基礎である図法と日本工業規格に基づく標準機械製図法を理解できる、
2. 機械製図の規格を理解し、簡単な機械部品の読図や作図を行なえることを設定している。

機械加工実習

　機械加工実習では、「工学部ものづくり教育研究支援ラボ（以下、ものづくりラボと略す）」の支援の下、7回にわたって旋削加工、平面加工、仕上げ加工、組み立てを実施している。
ものづくりラボ技術職員らとの検討の結果、上記の加工を万遍なく網羅した課題としてミニ万力の作製を課題として設定し、加工実習のテキストの作成を行った。
この「マテリアルデザイン　機械加工実習編テキスト」は、生協を通して印刷・販売を行っており、使用した学生およびOBからも非常に高い支持を受けている。

機械加工実習

機械加工実習の到達目標は、

① 機械加工および仕上げ加工の基礎原理や加工技術を修得し、理解・説明でき、

② 修得した技術で課題作品を作製できることを設定している。

平成26年度　マテリアルデザイン　実施計画
マテリアル工学科2年前期　月曜日：4～5講時

回	実施日	内容	担当
1	4/14	ガイダンス	田代
2	4/21	【製図】 設計・機械加工・機械製図	
3	4/28	【製図】 線と文字、平面図法、投影法	
4	5/12	【製図】 図形の表示法、断面法、補助投影法	
5	5/19	【製図】 寸法記入法	
6	5/26	【製図】 寸法公差と幾何公差および面の肌	
7	6/2	【製図】 締付用部品	
8	6/9	【実習】 ガイダンス、 「実習における安全と衛生に関する講習」	実習工場 TA+田代
9	6/16	【実習】1　旋削加工	実習工場 TA+田代
10	6/23	【実習】2　旋削加工	
11	6/30	【実習】3　平面加工	
12	7/7	【実習】4　平面加工	
13	7/14	【実習】5　仕上げ加工	
14	7/23(水)	【実習】6　仕上げ加工	
15	7/28	組み立て調整＆実習総括	

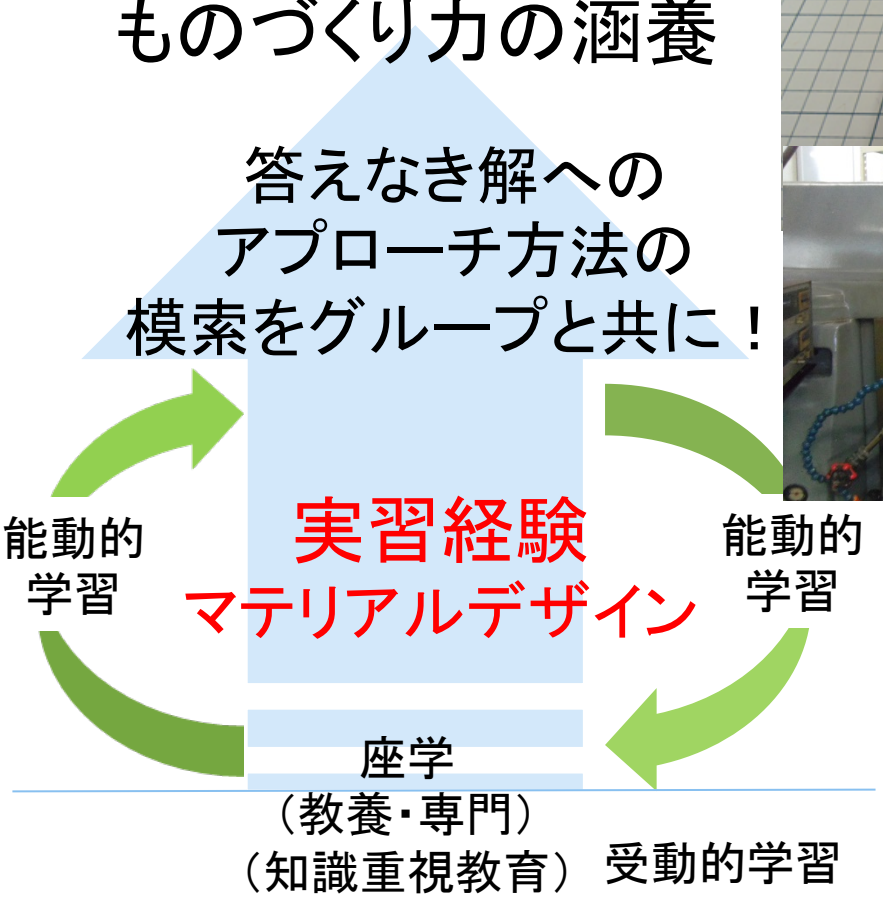
マテリアルデザイン

D-4：実験の計画・実行およびデータ解析の能力
E　：問題解決のために種々の情報や科学技術に関する知識を総合判断できる能力の修得
G　：自主的、継続的に学習する能力の修得
I　：チームを組んでプロジェクトを遂行する能力の修得

義務化
保険の加入
安全教育の受講
作業着（ツナギ）
帽子　安全靴

目標・狙い

- 「ものづくり能力」の発芽を促す
- 成果の作製ではなく，実習経験から『（座学では）何を学ぶべきか！』（動機付け）
- 「ものづくり」を行うための「答えなき解へのアプローチ方法模索への第一歩」
- グループワークの基礎



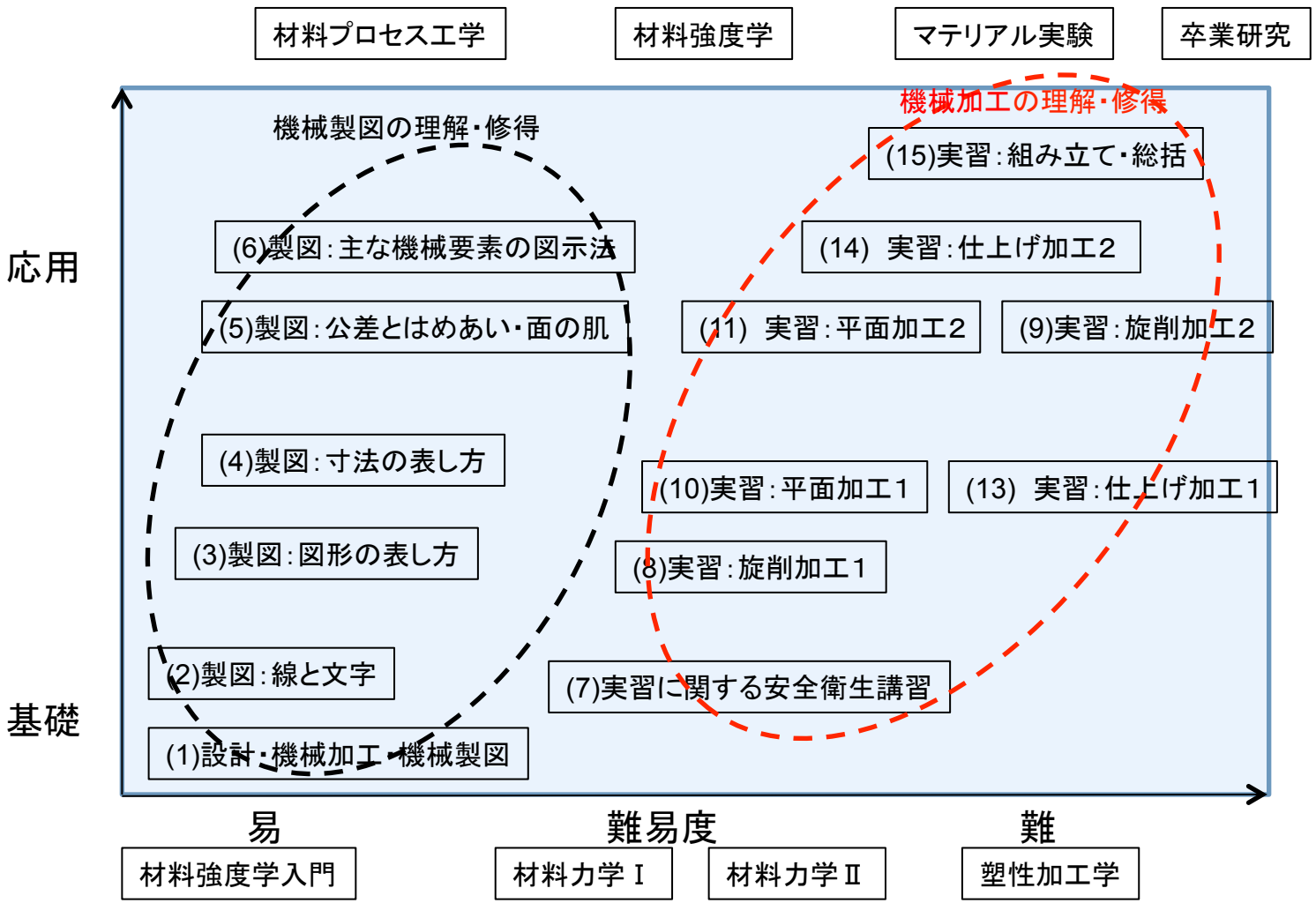
実学との出会い（ミニ万力製作）

「ものづくりには、理論が重要、
しかし理論どおりには運ばない・・・」
失敗からの学び

- 小グループで協力してものづくり（協調性・互学）
- 図面通りには加工できない
- 機械の使い方が分からない
- 小さな切り傷・・・

2016.2.17
マテリアル工学科
田代優

マテリアルデザイン（知識マップ）



到達目標1　機械製図の基礎である図法と日本工業規格(JIS)に基づく標準機械製図法を理解できる。
到達目標2　機械製図の規格を理解し、簡単な機械部品の読図や製図を行うことができる。
到達目標3　機械加工の基礎原理や加工技術の習得し、課題の技術について理解して説明できる。
到達目標4　修得した技術で課題作品を作製できる。

マテリアル実験「たたら製鉄実験」の開発

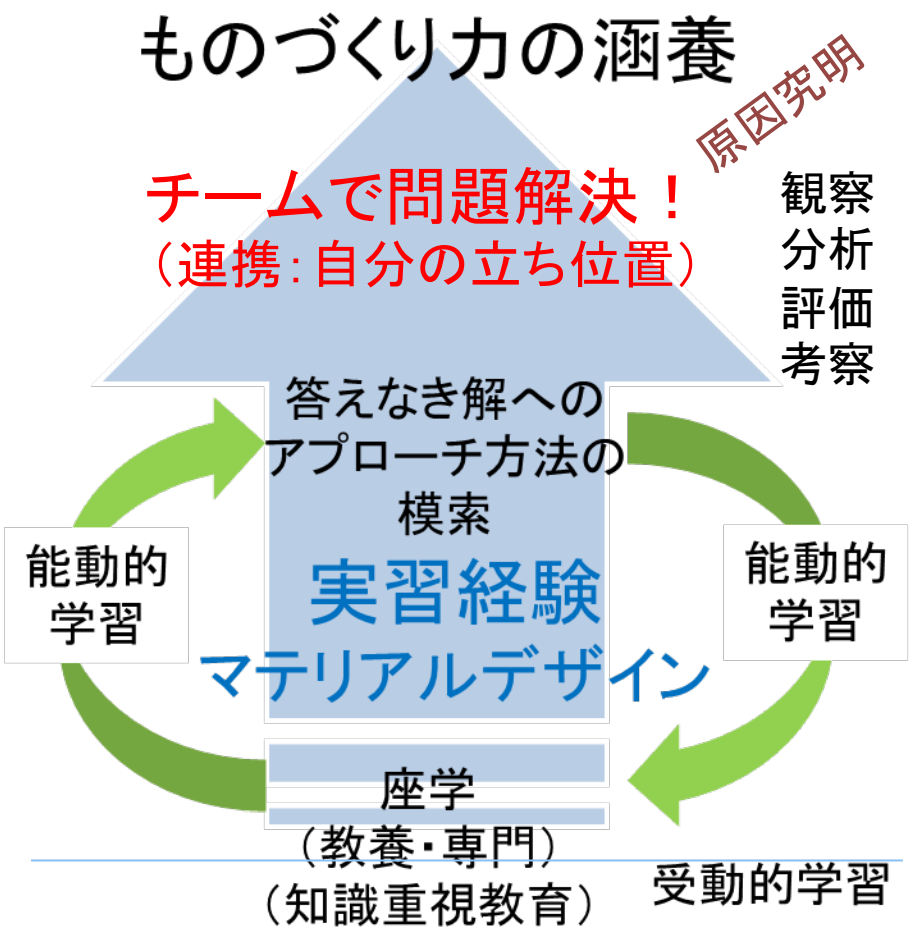
チームワークで課題を解決しよう！

マテリアル実験（たたら製鐵）

義務化
保険の加入
安全教育の受講
作業着（ツナギ）
帽子　安全靴

チームで「答えなき解」へ挑戦

コミュニケーション能力の涵養（調整力・協調性・チームワーク）
計画性の涵養（工程管理能力）
観察力・判断力の涵養
コスト意識の涵養



評価
チーム別の報告会
個人レポート

D-4：実験の計画・実行およびデータ解析の能力
E　：問題解決のために種々の情報や科学技術に関する知識を総合判断できる能力の修得
G　：自主的、継続的に学習する能力の修得
I　：チームを組んでプロジェクトを遂行する能力の修得

たたら製鐵実験

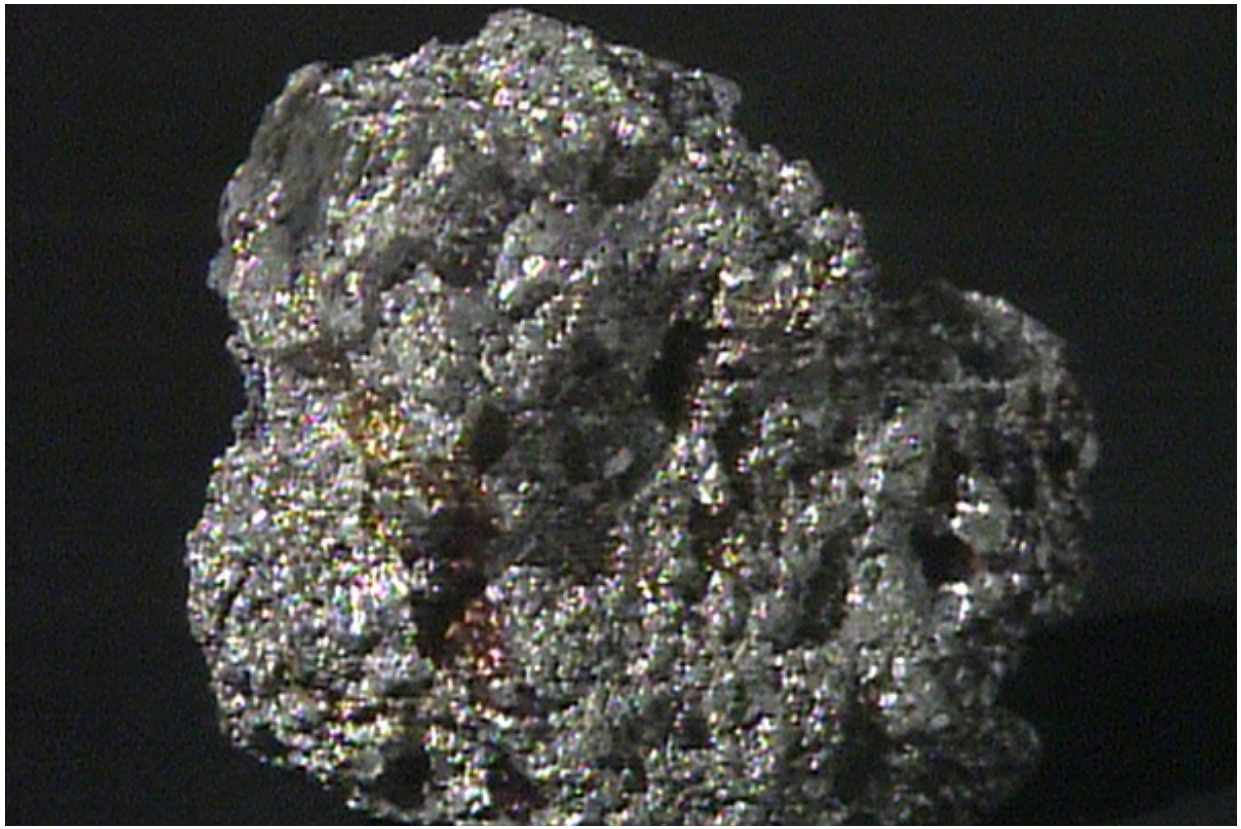
ガイダンス

201〇年10月〇日

本日の予定

1. はじめに
2. 実験風景（動画）
3. 製錬・製鐵について
4. 七輪を用いた,「たたら製鐵」について
   （内容説明）
5. 班分け・役割分担
6. 解散

1．はじめに



玉　鋼

日刀保たたら製（日本美術刀剣保存協会）

What たたら？

- 「たたら」とは元々ふいご（蹈鞴）を意味する言葉で、蹈鞴で鉄を吹くことから鉄を精錬する炉のことも「たたら」と呼び「鑪」と書く
- 河原や砂浜の砂鉄を木炭の燃焼によって還元して鉄を作る日本古来の製鐵法
- たたら操業は3日3晩（70時間）に及び、砂鉄（10t）と木炭（12t）は、約3トンのケラができる
- ケラの一部である「玉鋼」は、日本刀の原料となる

Why　たたら？

- 常磐沿岸地域（仙台～鹿嶋）では、たたら製鐵が行われていた
- 鹿島神宮の国宝「布都御魂剣（ふつのみたまのつるぎ）」と称する巨大な直刀（奈良時代末）
- 幕末水戸藩では、那珂湊に反射炉を設置して西洋製鐵を開始
- 新日鐵住金鹿島製鉄所は国内有数の製鉄所
- 鉄鋼材料を学べる国内有数のマテリアル工学科

鹿島製鉄所

鹿島神宮パンフより

那珂湊の反射炉

教育の目標

後半は，グループによる「たたら製鐵実験」を行い，
JABEEの教育到達目標である

① プロジェクト目標達成のためのスケジュール管理能力

② 仲間とともにグループでプロジェクトを協力・協調して遂行するために必要なコミュニケーション能力

③ 問題解決のために種々の情報や科学技術に関する知識を用いて，総合的に判断できる能力

④ コスト意識を持って行動する能力

の育成を行う.

成績評価

- たたら製鐵実験
  グループ発表会　：　20点満点（評価者：複数教員の平均）
  個人レポート　　：　30点満点（評価者：田代）

- 3分野（材料強度・組織プロセス・電子情報）の
  9実験の各レポート　：100点満点で採点し，
  平均点を50点満点に換算

- たたら製鐵（50点満点）+　9実験レポート（50点満点）

マテリアル実験の評価

スケジュール

10/8　ガイダンス
たたら製鐵に関する情報の講義

10/22　文献調査および操業計画の立案
たたら製鐵や鉄鋼製錬に関する調査
各Gr. の操業方針の決定（グループワークによる）
購入希望物品リスト作成
作業工程表の作成

10/29　作業工程表に基づく作業（Ⅰ）
炉作り，炭割り，送風装置の準備

11/5　作業工程表に基づく作業（Ⅱ）
炉作り，炭割り，送風装置の準備

11/12　たたら操業（雨天の場合は，Gr. 発表準備）
特別にマテリアル工学演習は休講とし，9:00から操業開始とする
操業終了は，各Gr. の進捗状態によるが夕方には終了したい．
鋼の回収

11/19　操業予備日・Gr. 発表準備

別日程　Gr.発表会・評価会

スケジュール

10/8　ガイダンス

たたら製鐵に関する情報の講義

- はじめに
- 製鋼製錬について
- これまでの経験から得たこと
- アカデミックスキルズの紹介と解説

宿題（10/8）

- 今回のガイダンスで得た情報および「たたら製鐵」の実施方法や技術的な問題点・それを解決するためのアイディアについて各自10/22までに調査・考察しておくこと.
- 10/22行う操業に関する，仕様書，工程表および購入品リストの作成に必要なGW手法を学習する.（アカスキ）

スケジュール

10/22　Gr.計画の策定
（図書館ラーニング・コモンズ）

（操業に関する，仕様書，工程表および購入品リストの作成）

- 宿題チェック（議論の基になる資料は準備は？）
- GWの仕事の分担
- 簡単な話題でGWの練習（50分間）
- 各Gr. 練習結果の発表（A4：1枚手書き）

- 操業仕様書の作成
- 具体的な工程表の作成
- 購入予定品リストの作成

各Gr.から，仕様書，工程表，購入品リストの提出

仲間とともに取り組もう！

- 村下：むらげ（リーダー：1名）
- 炉作り係（2名）　：　七輪炉の加工
- 炭割り係（2名）　：　炭を操業予定のサイズに切断・分類
- 砂鉄洗い（2名）　：　砂鉄の洗浄，不純物の除去
- 記録係（2名）　　：　各工程の記録（写真・メモ）

チームワーク

（目的のために協力して行動するグループ）

- スキル・役割の異なるメンバーで構成
- メンバー個々のスキルを最大限利用し、その相乗効果で目的目標を達成
- メンバ全員で目的に向かうため、個々の長所を活かすリーダーが必要

２．過去の実験風景（動画）

操業の様子を動画で見てみましょう！

製錬・製鐵について

金属

人類最初の鉄器文明、ヒッタイトは隕鉄を使って鉄器具

金属は石の文化とも共存

2000年前のローマ
水道水は石の水道橋を渡ってきた後、民家へは鉛のパイプをはんだ付けで延長

金属の酸化物の精錬順番

- 還元して大量生産される
- 酸化にくい
- 低温で還元できるもの

金(Au)
↓
銀(Ag)
↓
鉛(Pb)
↓
スズ(Sn)
↓
銅(Cu)
↓
鉄(Fe)
↓
アルミニウム(Al)
↓
シリコン(Si)
↓
ウラン(Uranium,U)

人類はなぜ鉄を用いるのか

人類はなぜ鉄を用いるか

(a) 鉄が地球上に大量に存在するから

地殻中

	wt%		wt%
SiO_2	55	O_2	47
$A\ell_2O_3$	15	Si	28
CaO	8.8	$A\ell$	8.1
FeO	5.8	Fe	5.0
Fe_2O_3	2.8	Ca	3.6
MgO	5.2	Na	2.8
Na_2O	2.9	K	2.6
K_2O	1.9	Mg	2.1
TiO_2	1.6	Ti	0.4

(b) 酸化鉄は還元しやすいから

標準生成エンタルピ

$A\ell_2O_3$	−1 676 kJ/mol
Cr_2O_7	−1 490
Fe_3O_4	−1 118
SiO_2	−911
Fe_2O_3	−824
CaO	−635
MgO	−602
ZnO	−348
SnO	−286
PbO	−277
Cu_2O	−169
HgO	−91
Ag_2O	−31

(c) 鉄は炭素と合金を作るから

カーボン量

0% フェライト
純鉄
↓
鋼
(炭素鋼)
1.5%
↓
鋳鉄
3%

図 3.3　人類が鉄を用いる理由

中尾政之，畑村洋太郎，“生産の技術”，　養賢堂(2002)

(b) 酸化鉄は還元しやすいから

標準生成エンタルピ	
$A\ell_2O_3$	−1676 kJ/mol
Cr_2O_7	−1490
Fe_3O_4	−1118
SiO_2	−911
Fe_2O_3	−824
CaO	−635
MgO	−602
ZnO	−348
SnO	−286
PbO	−277
Cu_2O	−169
HgO	−91
Ag_2O	−31

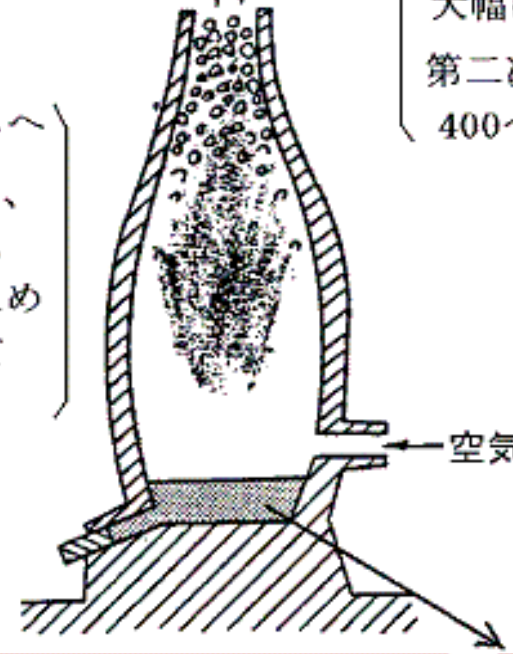
・還元しやすい金属ほど、人類は歴史上早くから用いていた

・石器→銅器→青銅器→鉄器

・錫(Sn)、亜鉛(Zn)、鉛(Pb)、水銀(Hg)、銀(Ag)は
　紀元前から利用されていたことも分かっている

高炉法

高炉法　15、16世紀　ヨーロッパで始まる。



空気を廃ガスで予熱して熱源としてのコークスを大幅に節約。

第二次大戦前 → 現在
400～500℃　1000℃以上

18世紀　木炭からコークスへ

石炭は高温で軟化融解し、空気循環をさまたげ還元反応が停滞する。そのため乾留してコークスとして利用する。

送風に動力を利用して送り込む空気量を増やし、炉内温度を上げる。

水車から蒸気機関へ発達

木炭からコークスにしたことにより不純物の混入

石灰石を融材として加えて除く

$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$

$SiO_2 \rightarrow CaSiO_3$

P

S

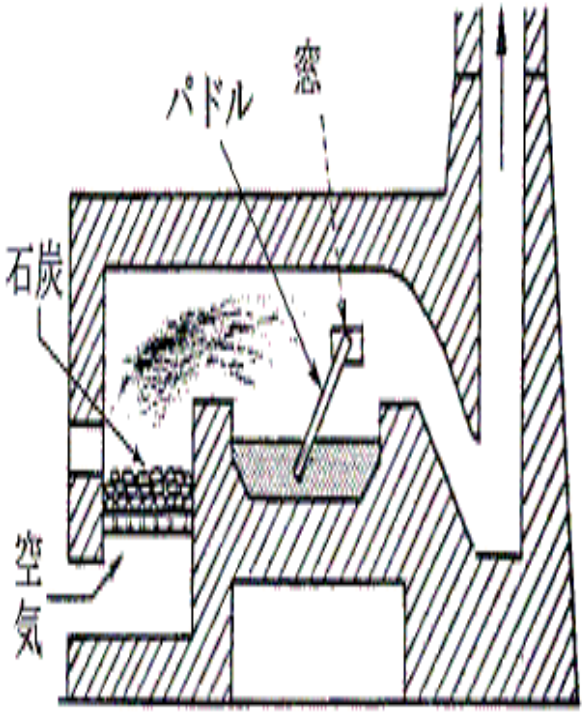
溶融スラグ（鉱滓（こうさい））となり、鋳鉄から分離して流出

炉の温度が上がり（1500℃以上）

炭素が鉄の中に溶け込むようになった。

（炭素が溶けると融点が下がる（1200℃程度））

パドリング法（反射炉）



特徴

- 過剰な酸素を送ることで炭素や不純物を除去
- 窓からパドルを入れ，人力でかき回す

欠点

- 一回の製鉄に時間がかかる
- 大量生産には不向き

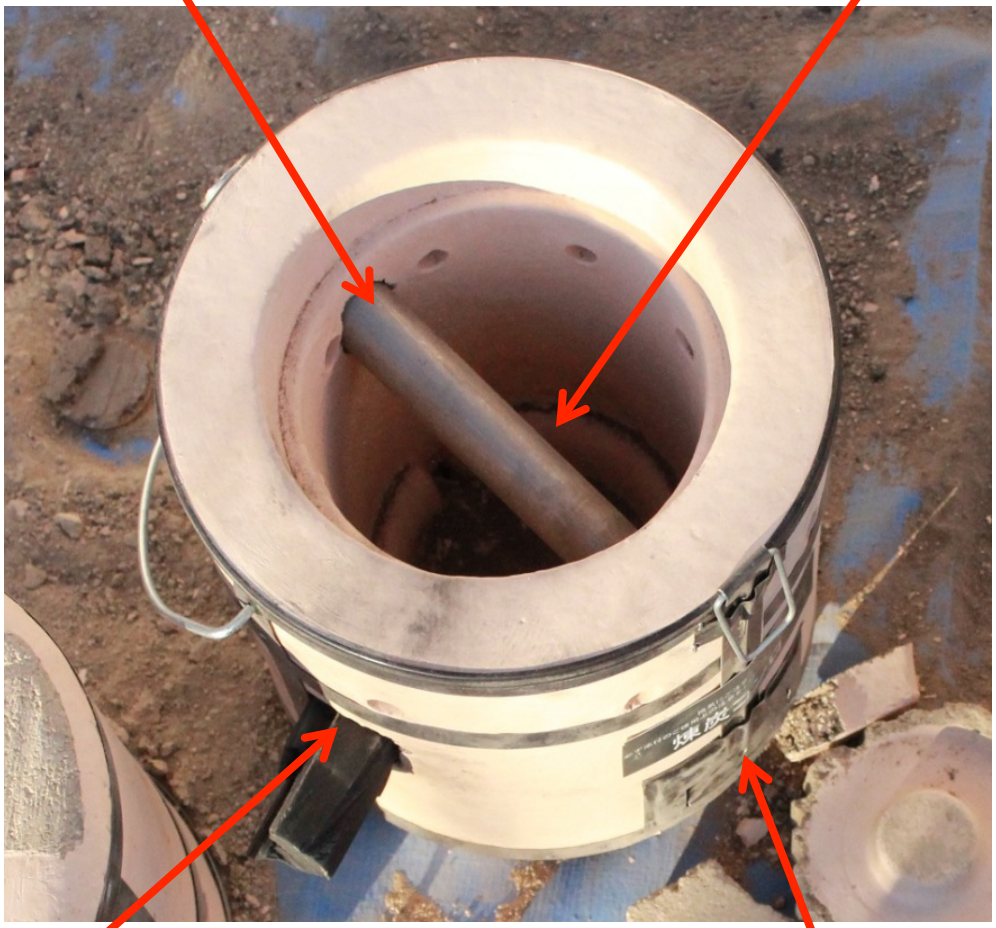
七輪を用いた
たたら製鐵について
（内容説明）

1．炉作り

1段目の加工

③羽口の加工
（送風口）

①七輪底部凸部
の除去



②ノロ出し口
の加工

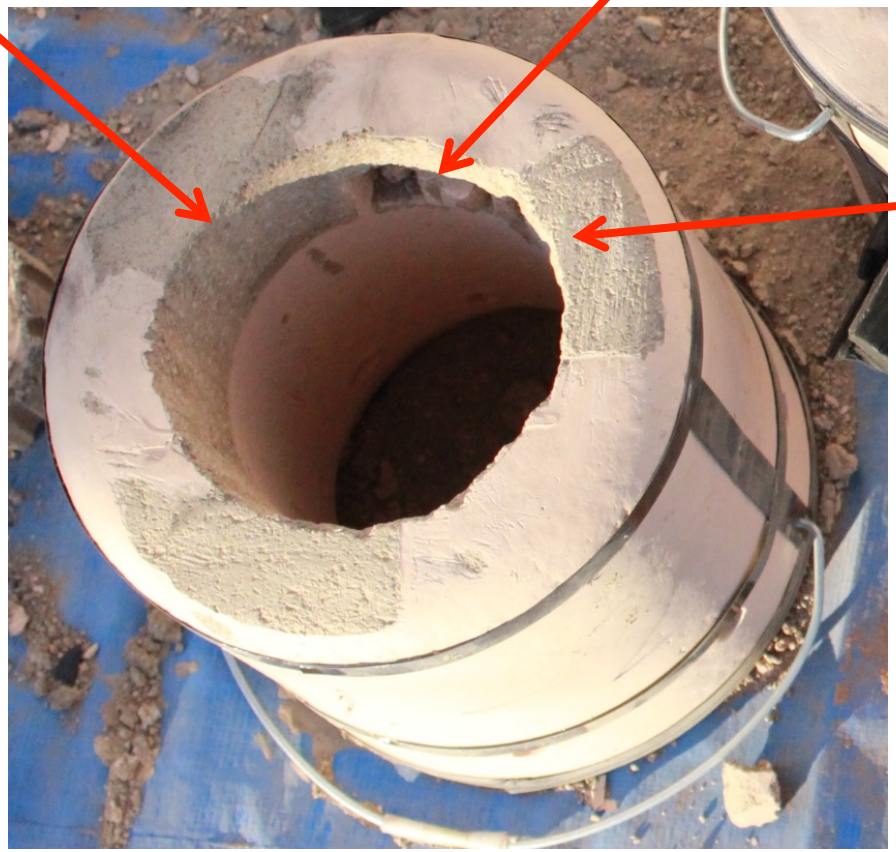
④七輪通気口を
モルタルで塞ぐ

1. 炉作り

2～5段目の加工

③七輪の通気口を
モルタル等で塞ぐ

②七輪の底に穴
を開ける



①七輪の
脚を切除

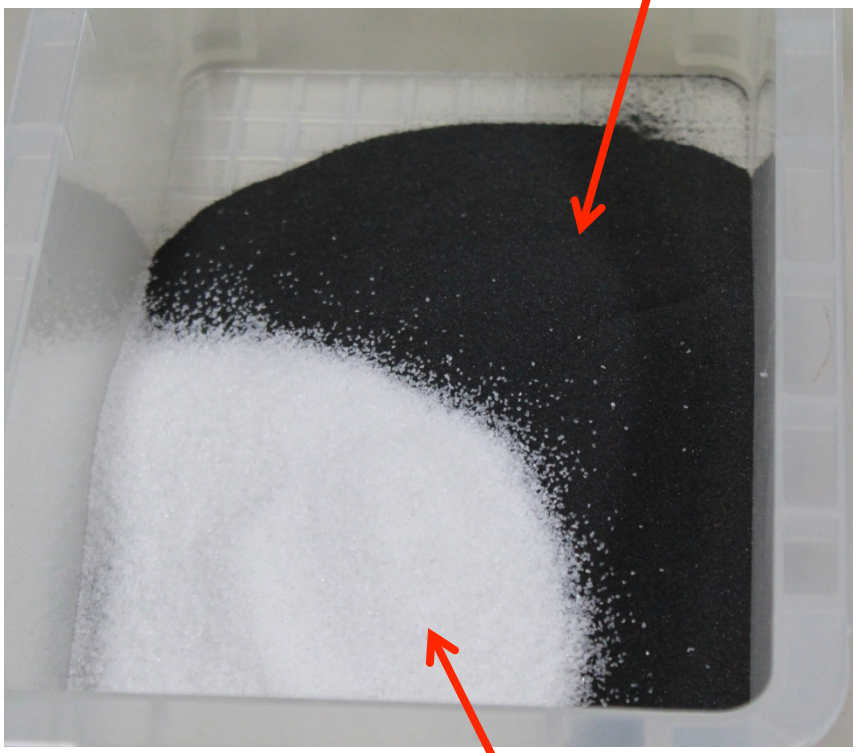
2. 炭割り

一辺〇〇mm角に炭を割る。

炭の切断

選別

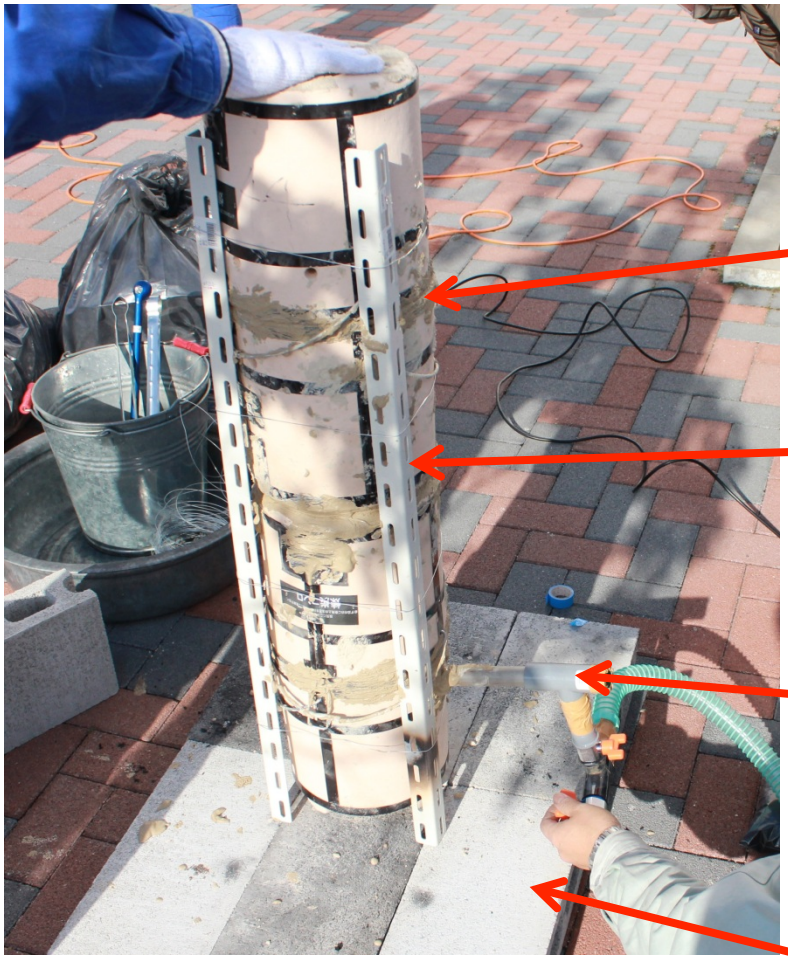
3. 砂鉄の洗浄および調整



- 砂鉄とケイ砂を混合
- これを小分けにする

ケイ砂の添加量：？

4. 築炉



接合部をモルタル
で固定

三角アングル（×３）と
針金で固定

送風量調整装置

軽量ブロック（×６個）

5. 操業(1)

〇分おきに
砂鉄とケイ砂の混合物を投入し、
炭を追加する。
これを〇回繰り返す。

炭を燃焼させる

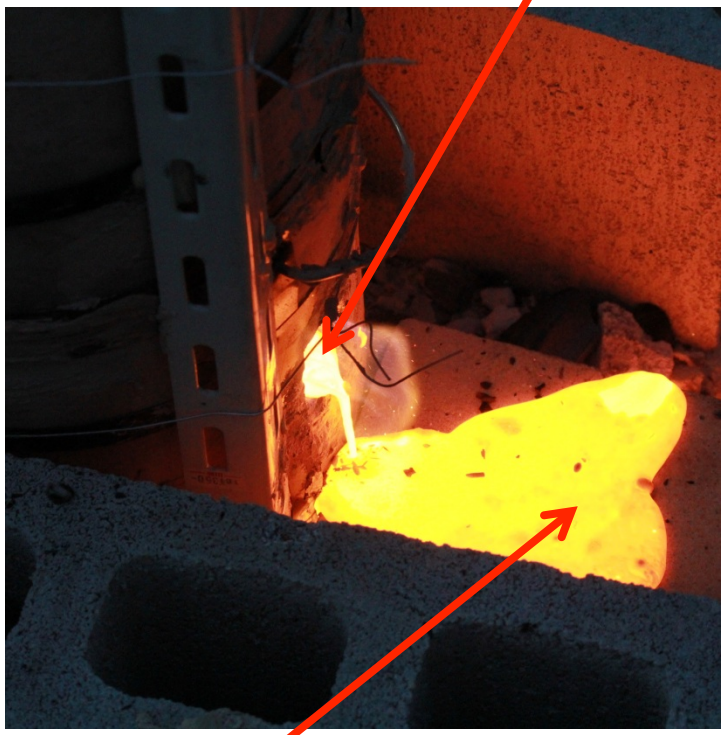
水蒸気
発生

炭を
いっぱい
に入れる。

5. 操業(2)

ノロ出し

ノロ取り出し口



ノロ

撤去作業

炭が燃え落ちたら、
順次撤去をする。

二段目撤去時、
送風の装置を外す。

⑥ケラの取り出し

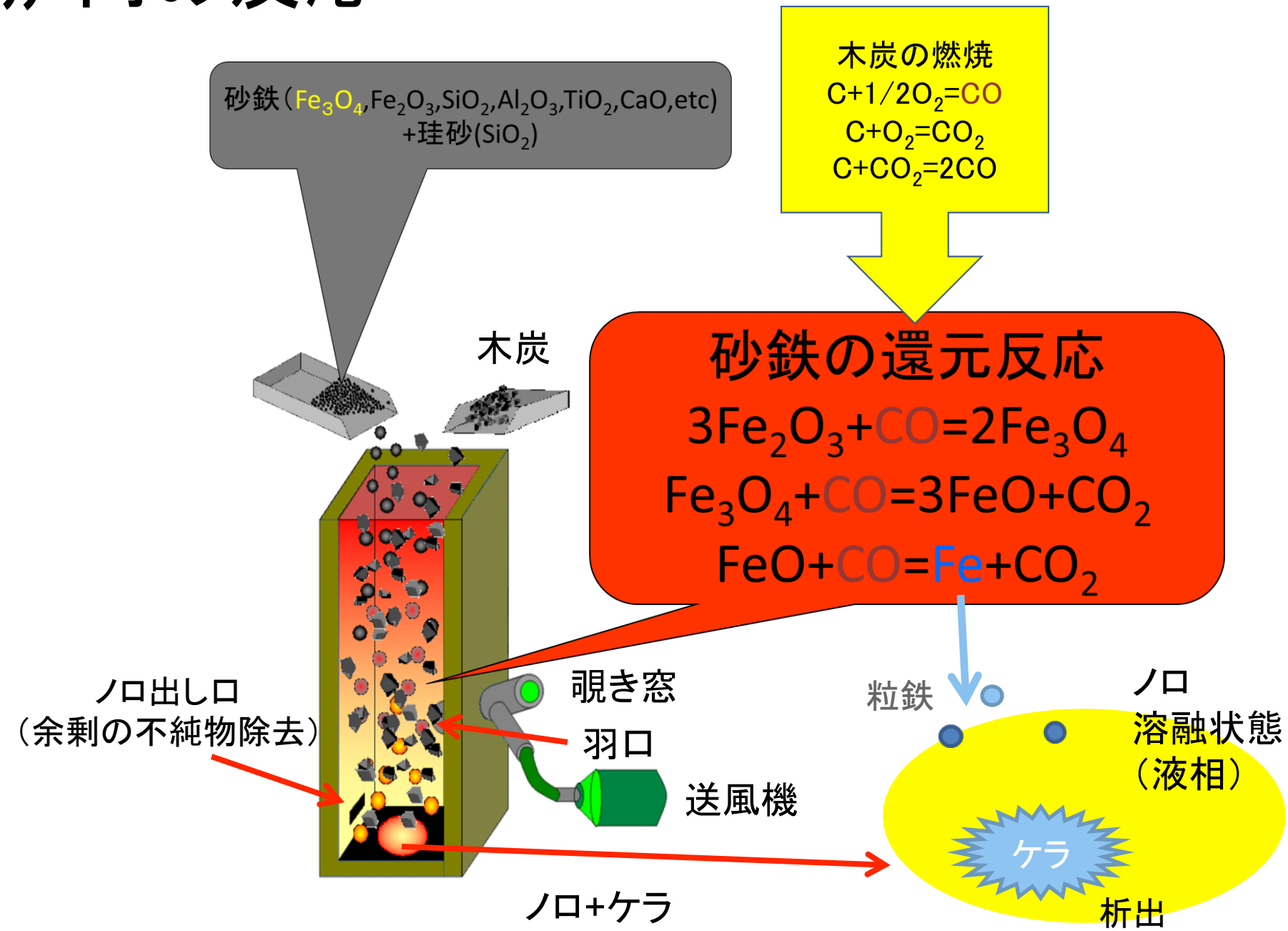
七輪の破壊

ケラの採取

ノロ+ケラの採取

取り出されたケラ

炉内の反応


砂鉄（Fe_3O_4,Fe_2O_3,SiO_2,Al_2O_3,TiO_2,CaO,etc)
+珪砂(SiO_2)
木炭の燃焼
$C+1/2O_2=CO$
$C+O_2=CO_2$
$C+CO_2=2CO$
木炭
砂鉄の還元反応
$3Fe_2O_3+CO=2Fe_3O_4$
$Fe_3O_4+CO=3FeO+CO_2$
$FeO+CO=Fe+CO_2$
ノロ出し口
（余剰の不純物除去）
覗き窓
羽口
送風機
粒鉄
ノロ
溶融状態
（液相）
ケラ
析出
ノロ+ケラ

これまでの操業から得られた知見・問題点

・七輪の段数は，多い方がよい（還元距離）

・炭が詰まり、空洞発生：炭の形状で制御
（炉内温度・CO濃度に影響）

・ノロが大量に生成し、ケラの回収量が少ない（ケイ砂：SiO_2量多すぎ）

・ケラ：　回収量少ない　＋　小さい

予備試験結果

- 炭の大きさ(20、30、40㎜□)を変えて落下試験を1～4段の七輪で実施
- 七輪の底に穴をあけただけでは、炭が詰まる
- 七輪の内壁の構造に問題がある
- 耐火モルタルで内壁修正　→　直管化

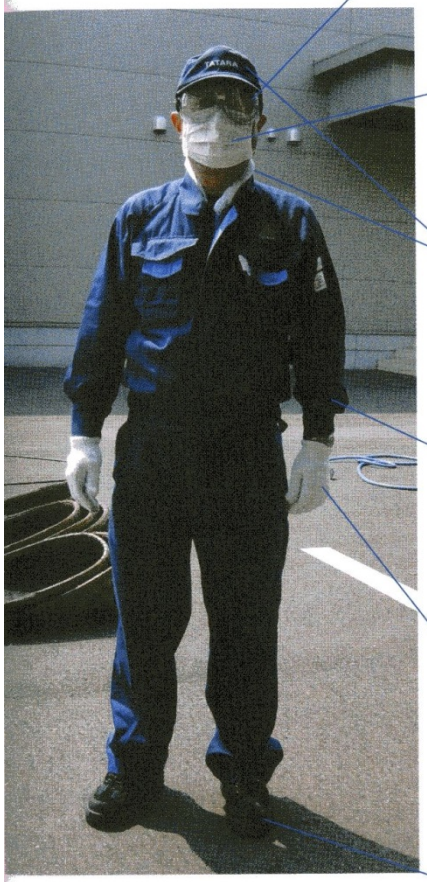
- 内壁を改良した七輪で落下試験を実施
- 炭が大きくなるほど詰まりやすい
- 炭が小さすぎると炭の充填率が高く、燃焼効率が悪くなる
- 炭の大きさを30㎜□に決定

改善案

- 炉の七輪の段数は５段とする
  （砂鉄が還元する時間を長く）
- 七輪の内壁の段差をなくす加工をする
  （炭詰まりの低減→炉内温度・CO濃度等の
  炉内環境向上）
- 炭の寸法の管理を行う（ 炭:30㎜□ ）
  （炉内環境向上）
- ノロの生成量をコントロールするためにケイ砂の添加割合を変えて操業（最適添加量を見つける）
  （ケイ砂：4～7wt%で操業）

注意事項および服装

1. 一酸化炭素に注意！
2. 熱中症に注意！
3. やけどに注意！
4. 冷却水を準備
5. 安定した場所で！
6. 周りの人へ配慮を！
7. 破片に注意！
8. 整理整頓！
9. ナタ・刃物を使うときは、
   刃物を持つ手は素手で！
   反対側の手は軍手で！



作業時に望ましい服装

●メガネ
粉炭や砂鉄の飛散、その他の粉塵・飛散物から眼を守ります。
（普通のメガネ、薄い色のサングラスでも良い）

●マスク
粉炭や砂鉄などの粉塵から喉を守ります。
（手ぬぐいでも良い）

●手ぬぐいまたはタオル　2枚以上
頭や首に巻いて首に巻いて襟元への粉炭の侵入を防ぎます。（頭は帽子でも良い）

●木綿の長袖作業着
肌の露出を抑えましょう。
厚手の木綿は火の粉が付着しても穴があきません。

●軍手（綿100%）
作業時に手を保護します。
濡れたらすぐに交換しましょう。
混紡、化繊ではなく必ず綿のものを用意します。

●靴
レンガなどを運ぶ作業など、重量物の落下や、熱いものが飛び散った際の防護ができるような靴にしましょう。

たたら操業仕様書

七輪段数	段
総砂鉄量	g
総木炭使用量	Kg
一回投入当たりの砂鉄量	g
砂鉄投入回数	回
羽口位置（要図面）	
羽口数（要図面）	
炉体のテーパー補修の有無	
その他	

総工程表

日程	実施予定項目	担当者
10月22日 （木）		
10月29日 （木）		
11月5日 （木）		
11月12日 （木）		
11月19日 （木）		

たたら操業準備

詳細工程表

10月29日（木）

	12:40～14:10		14:20～16:00		16:00～17:30		担当者	進捗度
炉								
炭								
砂鉄								

たたら操業
詳細工程表

11月12日（木），荒天時は11月19日

	9:00～10:30		10:30～12:00		12:00～13:30		13:30～15:00		15:00～16:30		16:30～18:00		担当者
炉													
炭 砂鉄													
他													

発表会の様子
（工学部図書館ラーニング・コモンズにて）

ま と め

マテリアル工学科における本プログラムの変遷

2007～2009年度前期・2年生必修
マテリアル実験Ⅰ（製図（全6回×2コマ））　:3年間

2010年前期・2年生必修
マテリアル実験Ⅰのマテリアルデザイン先行試行開始
（機械加工実習開始）　:7年間

2011年度前期・2年生必修
マテリアルデザイン実施開始　:6年間

2012年後期・3年生必修
マテリアル実験「たたら製鉄実験」開始　:4年間

成果・実績

2014年度JABEE認定取得
マテリアルデザイン機械加工実習編テキスト作成

製図　　：　10年間（延べ350名受講）
機械加工実習　：　7年間（延べ250名受講）
たたら製鉄実験：　5年間（延べ175名受講）

無事故継続中

教育改善経費の取得状況
H22年度教育改善経費（設備枠）採択：旋盤2台の更新
H23年度教育改善経費採択：ものづくり教育へのたたら製鉄の適用
H26年度教育改善経費（共同参加）：ノギス・マイクロメータの購入

謝　辞

この教育改善過程においては技術部、特に「ものづくり教育研究支援ラボ」の職員諸氏およびマテリアル関係技術職員に多大なるご支援・ご協力を頂きました。ここに深く感謝を申し上げます。