



Challenging Tomorrow's Changes

冶金プロセスモジュール

1. TCOX（酸化物データベース）の紹介

- TCOX（酸化物データベース）の紹介
- TCOXを使用した計算例

2. 冶金プロセスモジュールの適用領域

3. 計算例題5つ

* 前半は冶金プロセスモジュールに必要なとなる熱力学データベース TCOXシリーズの説明です。冶金プロセスモジュールの適用領域や、ケーススタディに関しては7ページからになります。

TCOXの概要：

- TCOXシリーズは、スラグや酸化物向けに開発された熱力学データベースです。実験データや理論データ（第一原理計算などで算出）に基づき作成
- 熱力学データに加え、モル体積やイオン液体の粘度、表面張力の物性データも収録

用途：

- 酸化物や硫化物といった固体・液体のイオン化材料, セラミックやスラグ, 耐熱材, ESRスラグ（エレクトロスラグ溶解）, 遮蔽コーティング(TBC), イットリア安定化ジルコニア（YSZ）, 冶金プロセス（スラグと液体金属の相互作用）, 脱リン酸, 脱硫など

冶金プロセスモジュール:

- 精錬過程におけるスラグと溶鋼の反応を便宜的に解析可能
- TCOX8以降のデータベースが必要（モジュール本体は無償）
- Thermo-Calc2020a バージョン以上（最新版を推奨）

収録元素：

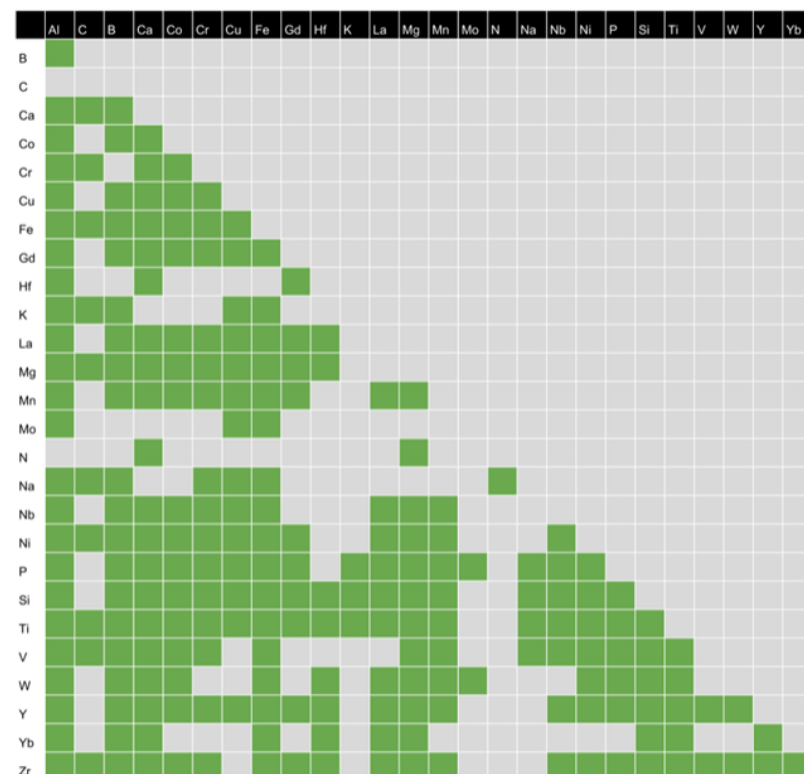
- Al, Ar, B, C, Ca, Co, Cr, Cu, F, Fe, Gd, H*, Hf, K, La, Mg, Mn, Mo, N, Na, Nb, Ni, O, P, S, Si, Ti, V, W, Y, Yb, Zr

* ArとHについては、ガス相についてのみ考慮されます

アセスメントデータ：

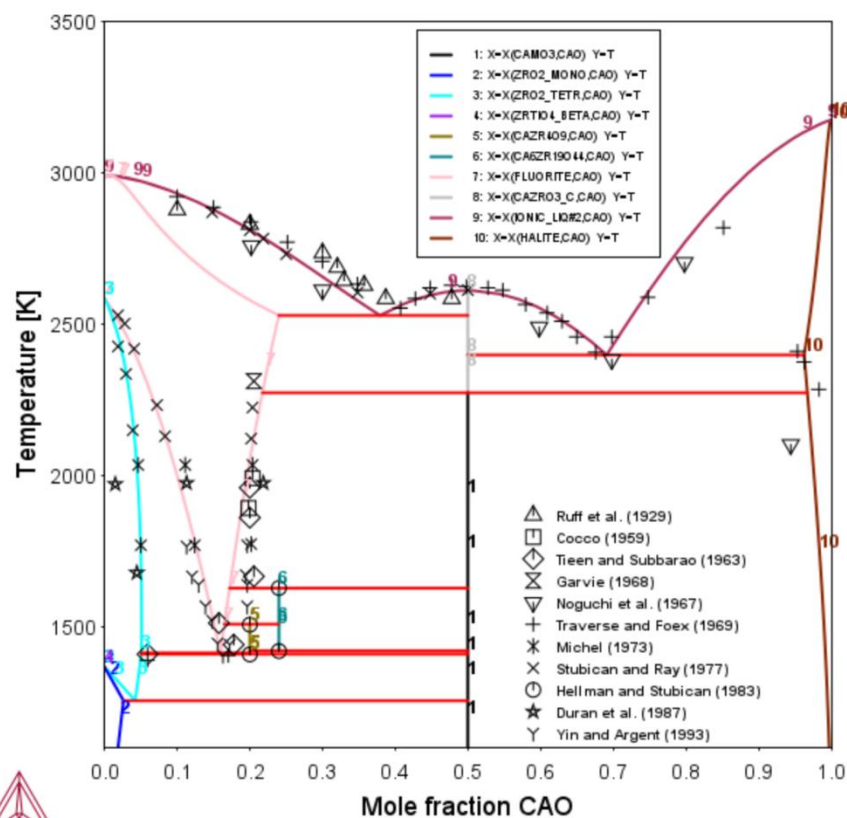
- 2元系アセスメントデータ：392
- 3元系アセスメントデータ：508
- 擬三元系酸化物系：141
（右図：Me1-Me2-O）
- 酸化フッ化物および酸化硫化物系：39
- 相: 604のイオン液体相や化合物相

Assessed Ternary Oxide Systems, Me1-Me2-O



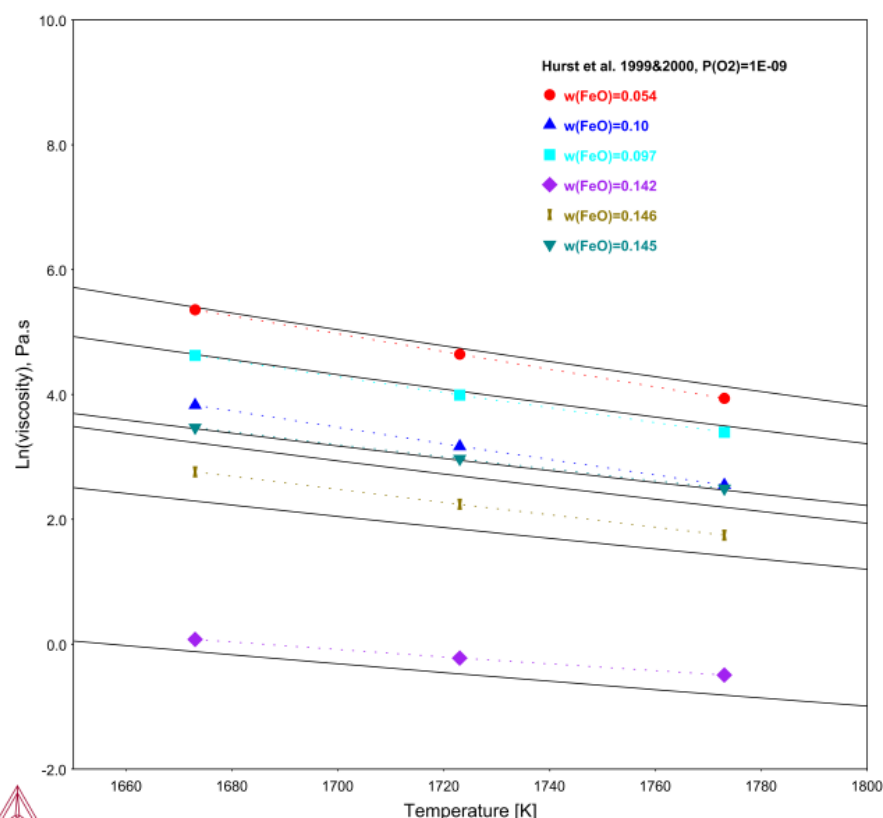
CaO-ZrO₂状態図：

- 溶融したCMASと遮蔽コーティング (YSZ) との反応



FeO-CaO-Al₂O₃-SiO₂系 スラグ粘度の温度依存性評価：

- 5wt%FeOのスラグ組成における
粘度の温度依存性を評価

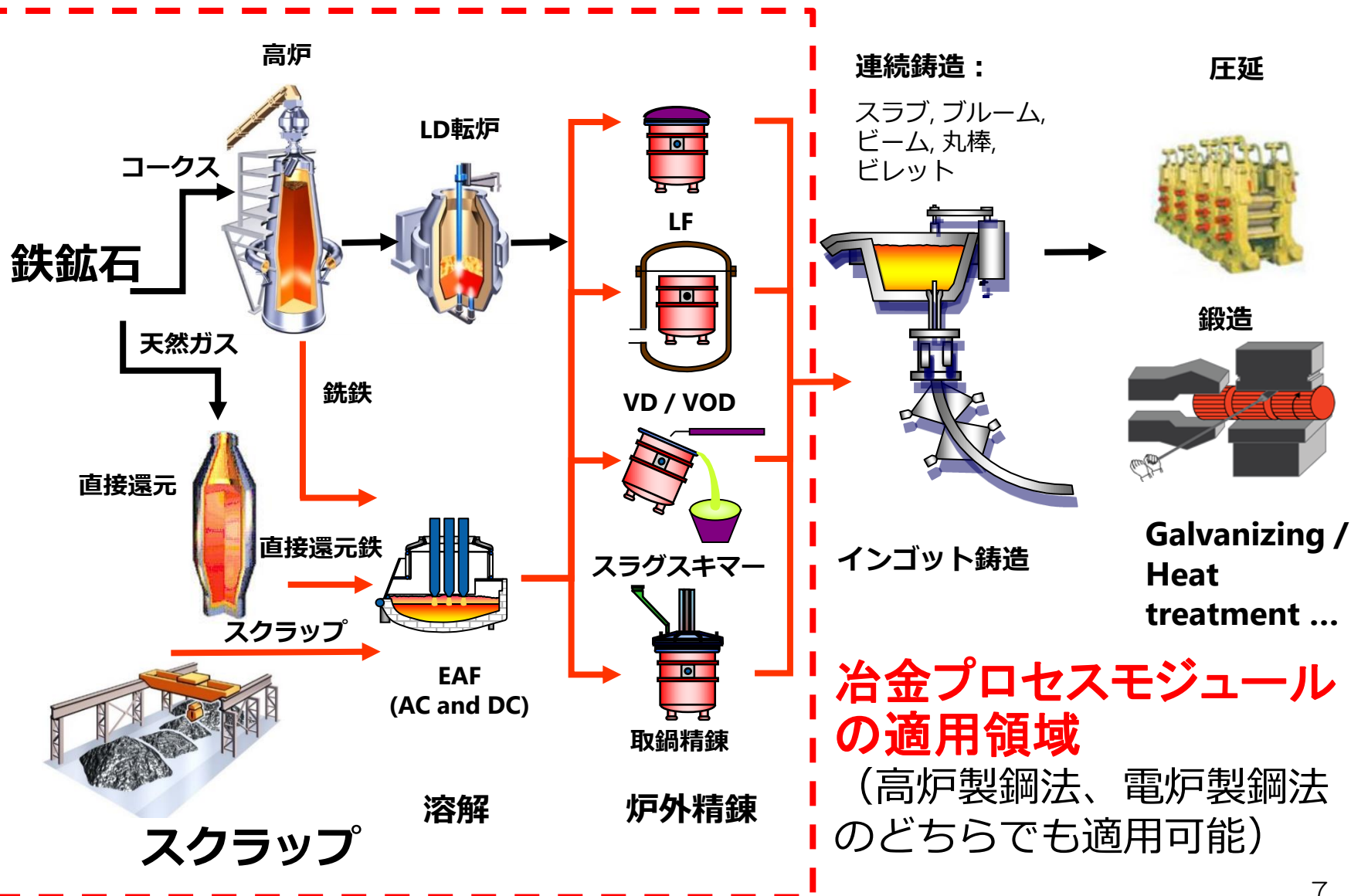


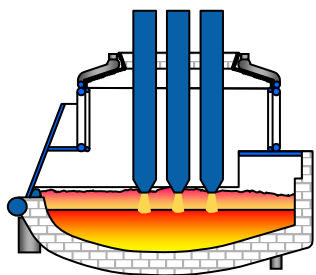
1. TCOX（酸化物データベース）の紹介

2. 冶金プロセスモジュールの適用領域

- 製鋼プロセスの概要
- 冶金プロセスモジュール適用可能プロセス例

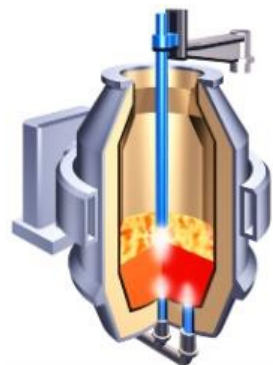
3. 計算例題5つ





EAF(電気炉)

- 加熱
- 溶融
- 脱リン



LD・BOF(転炉)

- 脱炭素
- 不純物除去

例題ファイル：

[Ex-4a-BOF_DEMO](#)

[Ex-4b-BOF_TCOX](#)



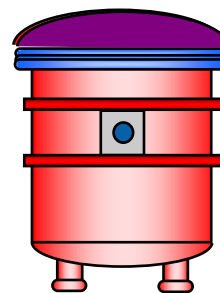
Tapping (出鋼)

- 溶鋼の脱酸
- 成分調整

例題ファイル：

[Ex-6a-Al_and_Si_killing_DEMO](#)

[Ex-6b-Si-Mn_and_Al-Ca_killing_TCOX](#)

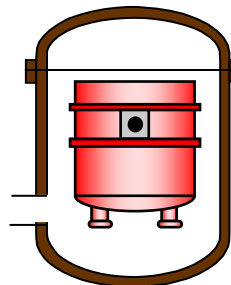


LF (炉外精錬炉)

- 溶鋼の脱硫
- 非金属介在物の除去

例題ファイル：

[PMET_06_Ladle_Furnace_Kinetics](#)



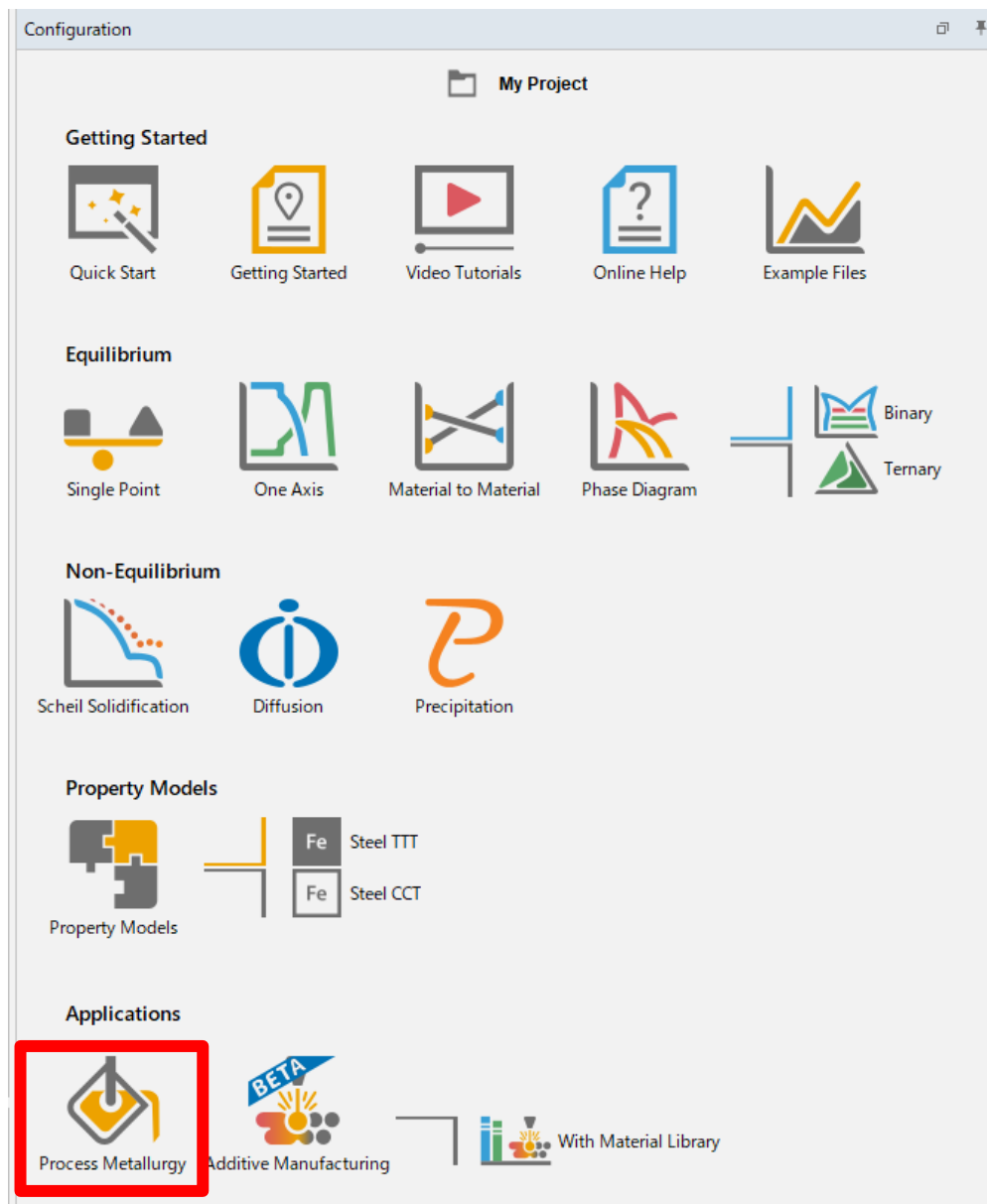
VOD (真空酸素脱炭):

- 溶鋼の脱炭 (水素, 窒素)
- 非金属介在物の除去

例題ファイル：

[PMET_07_Vacuum_Oxygen_Decarburization_Kinetics](#)

プロセス別に例題ファイルが用意されており、DEMO版データベースでも動作可能な例題もあり



1. TCOX（酸化物データベース）の紹介

2. 冶金プロセスモジュールの適用領域

3. 計算例題5つ

1. BOF(転炉)プロセス
2. Tapping (出鋼)プロセスにおける脱酸素
3. LF (炉外精錬炉)プロセスにおける脱硫
4. 精錬過程 (LF) において速度論を考慮 (EERZモデル)
5. VOD (真空酸素脱炭) プロセス

1. BOF(転炉)プロセス

- BOF(転炉)プロセス
- BOFプロセスにおける脱硫工程

2. Tapping (出鋼)プロセスにおける脱酸素

3. LF (炉外精錬炉)プロセスにおける脱硫

4. 精錬過程 (LF) において速度論を考慮 (EERZモデル)

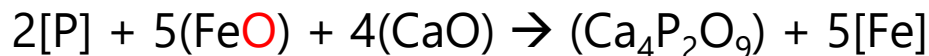
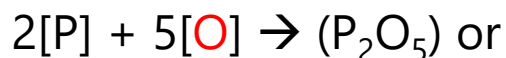
5. VOD (真空酸素脱炭) プロセス

BOFプロセス：

- 高炉過程で生成された溶銑（高い炭素含有量）に酸素を吹き込み、炭素をCO₂かCOとして脱炭素し、溶銑中の炭素量を減らす工程

不純物の除去：

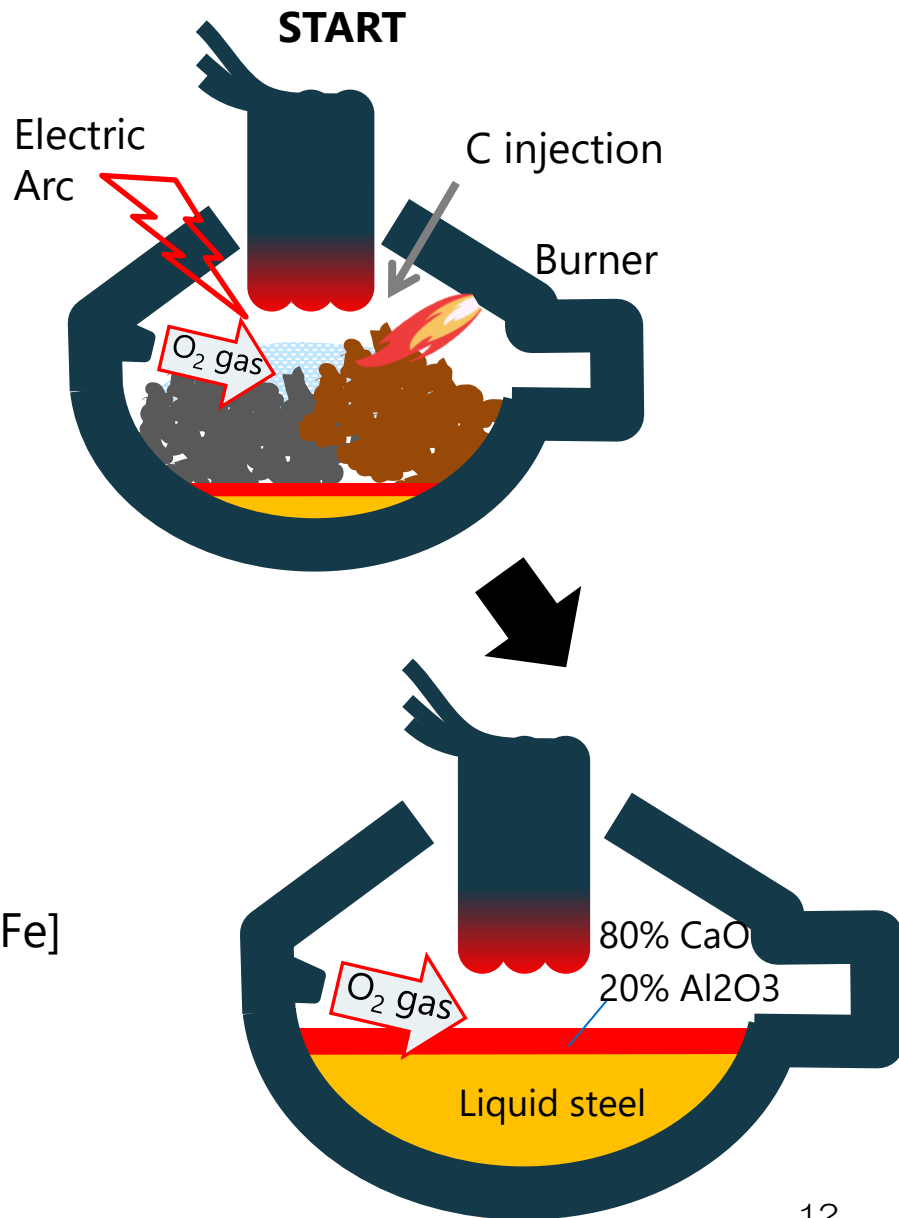
- 製錬においてSとPの除去が重要だが、BOFは酸化条件のため、Pの除去は可能だが、Sの除去は困難



→ 酸化条件



→ 還元条件



計算条件：

例題のファイル: Ex-4b-BOF_TCOX.tcu

- 1650°C, 等温 ①
- 溶鋼の組成 (S:0.08wt%, P:0.06wt%) ②
- スラグ添加なし / スラグ添加あり (3t, CaO:75%, Al₂O₃:25%) ③
- 酸素吹込み量に対し、スラグ添加の有無の影響を計算 ④

計算条件の設定画面

Conditions Options

Kinetics

☒ Equilibrium ☐ Process simulation

Conditions

Database: TCOX9

Thermal control: Isothermal

Temperature: Celsius 1650.0 ①

Pressure: Pascal 100000.0

Material: Steel Steel_BOF

Amount: Tonne 100.0

Input type: Mass percent Element

Major component: Fe 94.86, C 4.5, Si 0.5, S 0.08, P 0.06 ②

Total: 100.0

Material: Slag Slag_BOF

Amount: Tonne 3.0

Input type: Mass percent Component

Major component: CaO 75.0, Al₂O₃ 25.0 ③

Total: 100.0

Material: Gas Oxygen

Amount: Normal cubic meter 1.0

Input type: Mass percent Gas component

Major component: O₂ 100.0

Total: 100.0

Calculation Type

☐ Single ☒ One axis ☐ Grid ☐ Uncertainty

Grid Definitions

Quantity: Amount of Oxygen (GAS) [Nm³] ④

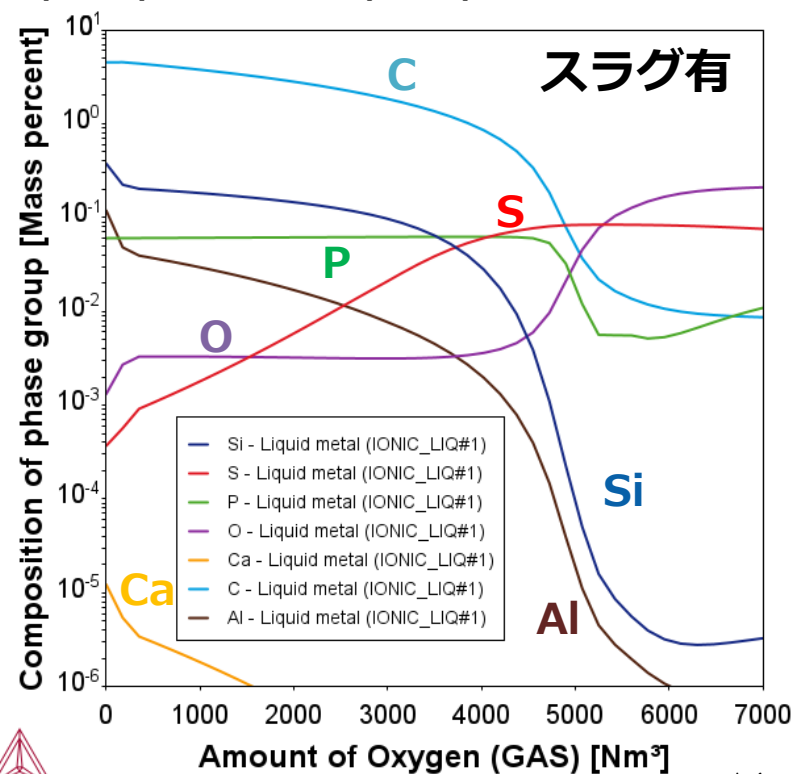
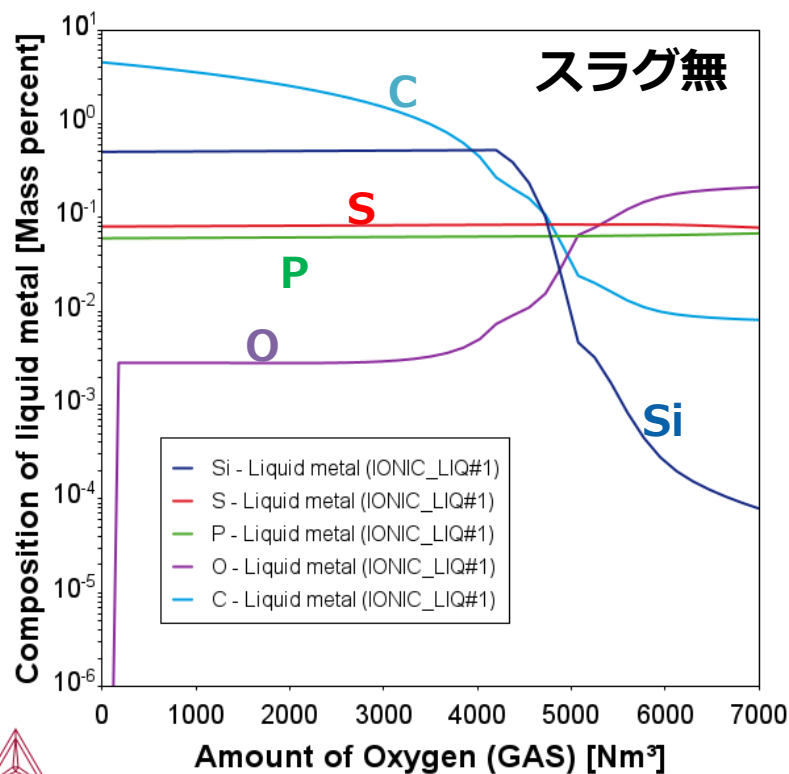
Min: 0.0 Max: 7000.0 Number of steps: 40

計算結果：

例題のファイル: Ex-4b-BOF_TCOX.tcu

- スラグ (CaO, Al₂O₃) を投入することで、BOFの酸化条件（酸素吹込み）により、溶鋼中のP含有量は減少
- Sは酸化条件下では除去が困難

投入酸素量に対する溶鋼中の元素組成の変化, (左図)スラグ無, (右図)スラグ有



1. BOF(転炉)プロセス

2. Tapping (出鋼)プロセスにおける脱酸素

- Tapping (出鋼)プロセスにおける脱酸素
- 出鋼における脱酸工程

3. LF (炉外精錬炉)プロセスにおける脱硫

4. 精錬過程 (LF) において速度論を考慮 (EERZモデル)

5. VOD (真空酸素脱炭) プロセス

2. Tapping (出鋼)プロセスにおける脱酸素 CTC

タッピング（出鋼）：

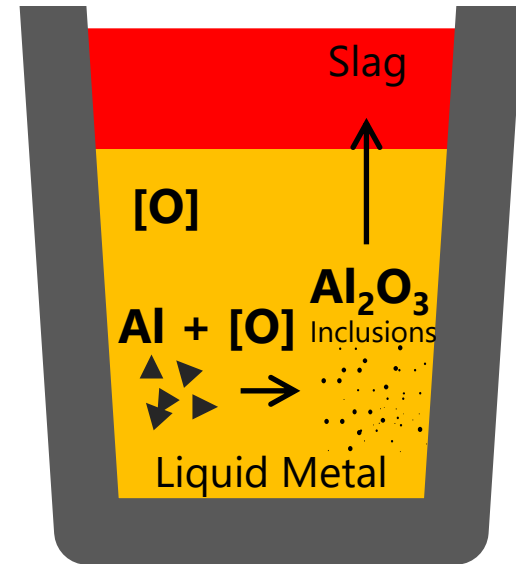
- BOFやEAFの一次精錬後で、脱硫工程前に溶存酸素を取除く工程

脱酸反応：

- 溶鋼中にSiやAlを添加する方法が一般的で、溶存酸素と反応させ、酸化物を生成させる



- 酸化物液中への残存物の問題より、AlとCa、SiとMnを組合わせて使用することが多い
- 二次精錬の際に酸化物を浮遊させて溶鋼から除去



脱酸が十分でない場合、
鑄造時にガスが放出し、
空洞が生成

計算条件：

例題のファイル: Ex-6b-Si-Mn_and_Al-Ca_killing_TCOX.tcu

- 1650°C, 断熱 ①
- EAF後の溶鋼の組成条件 (100t) ②
- 添加元素：Mn(0-600kg)とSi(0-200kg) or Al(0-80kg)とCa(0-30kg) ③
- 添加元素量に対し、溶鋼中の溶存酸素量を計算 ④

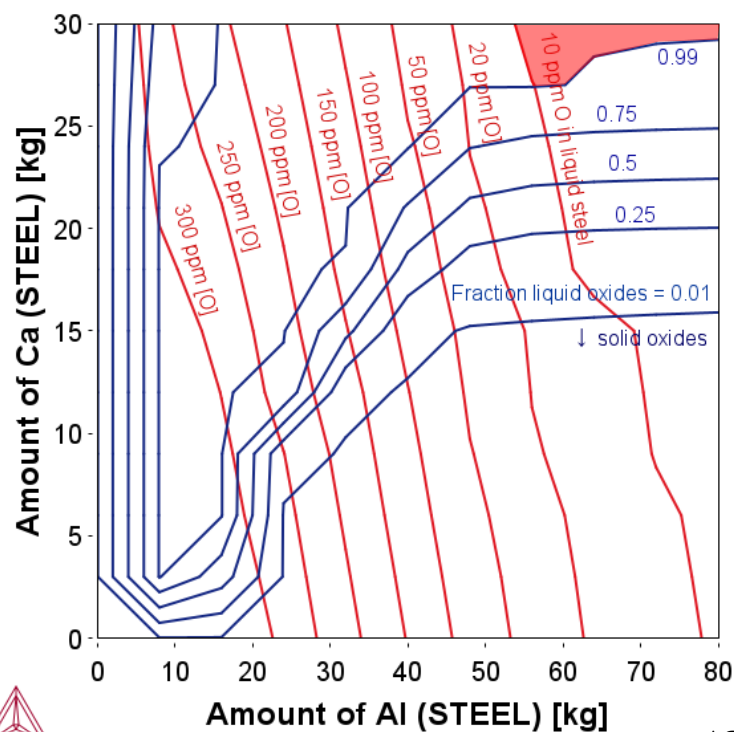
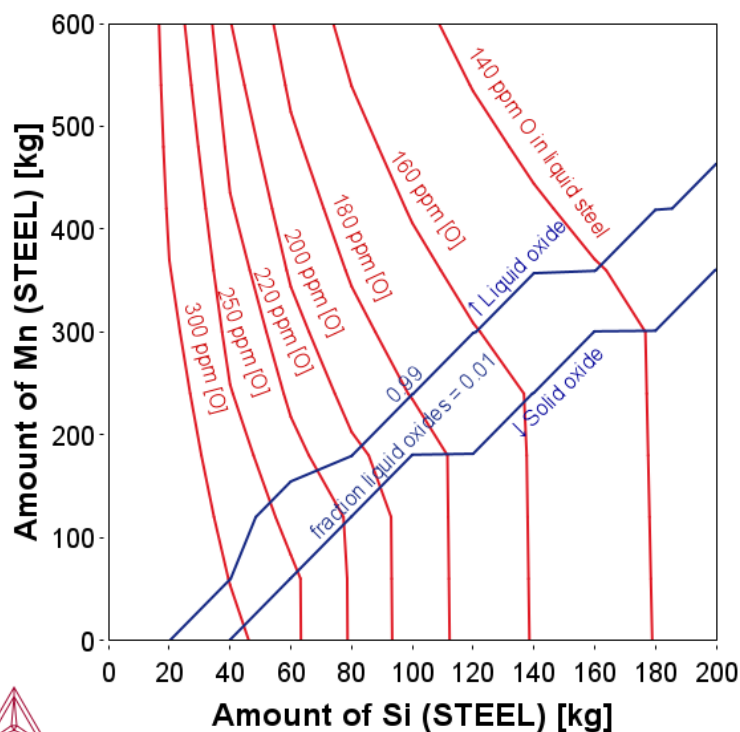
計算条件の設定画面 (MnとSiを添加する場合)

計算結果：

例題のファイル: Ex-6b-Si-Mn_and_Al-Ca_killing_TCOX.tcu

- Siでは、100ppm程度まで溶存酸素量を減少
- Alは強力な脱酸剤で、溶存酸素量を10ppm以下を達成可能
(赤色の塗潰領域は、脱酸と完全な液相域を示す)

溶鋼中の溶存酸素量の変化を示す等高線図, (左図)添加元素:Si,Mn, (右図) " :Al, Ca



1. BOF(転炉)プロセス

2. Tapping (出鋼)プロセスにおける脱酸素

3. LF (炉外精錬炉)プロセスにおける脱硫

- LF (炉外精錬炉)プロセスにおける脱硫
- LFにおける脱硫工程

4. 精錬過程 (LF) において速度論を考慮 (EERZモデル)

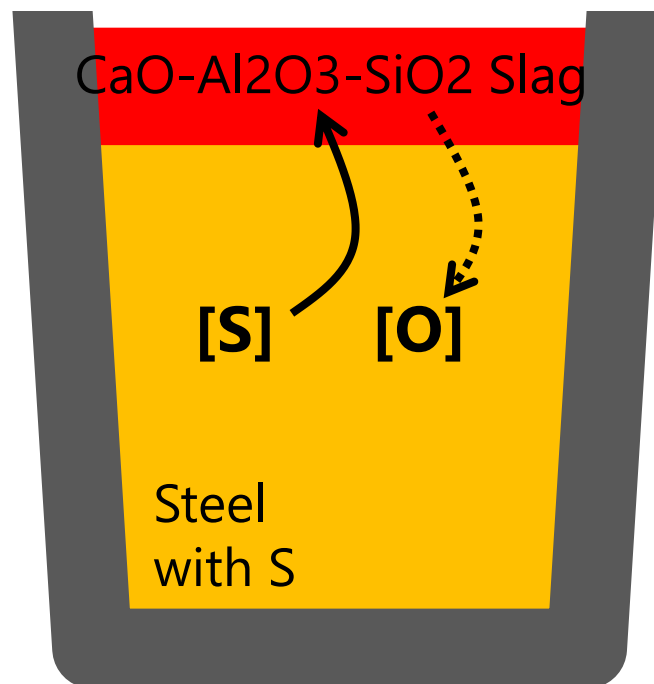
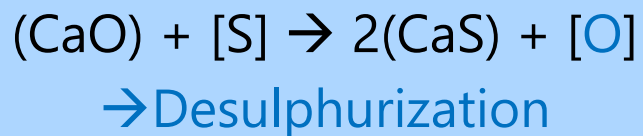
5. VOD (真空酸素脱炭) プロセス

LF (取鍋精錬炉) :

- 溶鋼中の硫黄を取り除く脱硫工程
(LFは脱硫のほか, 脱酸, 非金属介在物除去などの還元精錬を実施)

脱硫工程 :

- 脱酸剤で酸素含有量が減少した後に実施
- 脱硫要件として :
 - ・ 硫黄が溶鋼からスラグ相に移動し、スラグ相が多量の硫黄を取込めること
 - ・ 反応面積を増やすため、スラグが完全に液体 (液相分率>0.9) であること



計算条件：

例題のファイル：Ex-7_Ladle-Furnace_TCOX.tcu

- 1620°C, 等温 ①
- 溶鋼の組成条件（100t, 0.1wt%S） ②
- スラグ相（100t, CaO, Al₂O₃, SiO₂） ③
- スラグのSiO₂とAl₂O₃量を変更し、溶鋼中のS含有量に与える影響を評価 ④

計算条件の設定画面

Conditions Options

Kinetics

☒ Equilibrium ☐ Process simulation

Conditions

Database: TCOX9 ①

Thermal control: Isothermal

Temperature: Celsius 1620.0

Pressure: Pascal 100000.0

Material: Steel Steel_LF

Amount: Tonne 100.0 Hide composition

Input type: Mass percent Element Major component Save material

Major component:

Element	Value
Fe	98.836
C	0.21
Si	0.2
S	0.1
P	0.02
O	0.01
Mn	0.6
Al	0.024

②

Material: Slag Slag_LF

Amount: Kilogram 1000.0 Hide composition

Input type: Mass percent Component Major component Save material

Major component:

Component	Value
CaO	60.0
Al ₂ O ₃	20.0
SiO ₂	20.0

Total: 100.0

③

Calculation Type

☐ Single ☐ One axis ☒ Grid ☐ Uncertainty

Grid Definitions ④

Quantity	Min	Max	Number of steps
Composition Al ₂ O ₃ in Slag_LF (SLAG) [Mass percent]	0.0	50.0	20
Composition SiO ₂ in Slag_LF (SLAG) [Mass percent]	0.0	50.0	20

計算結果：

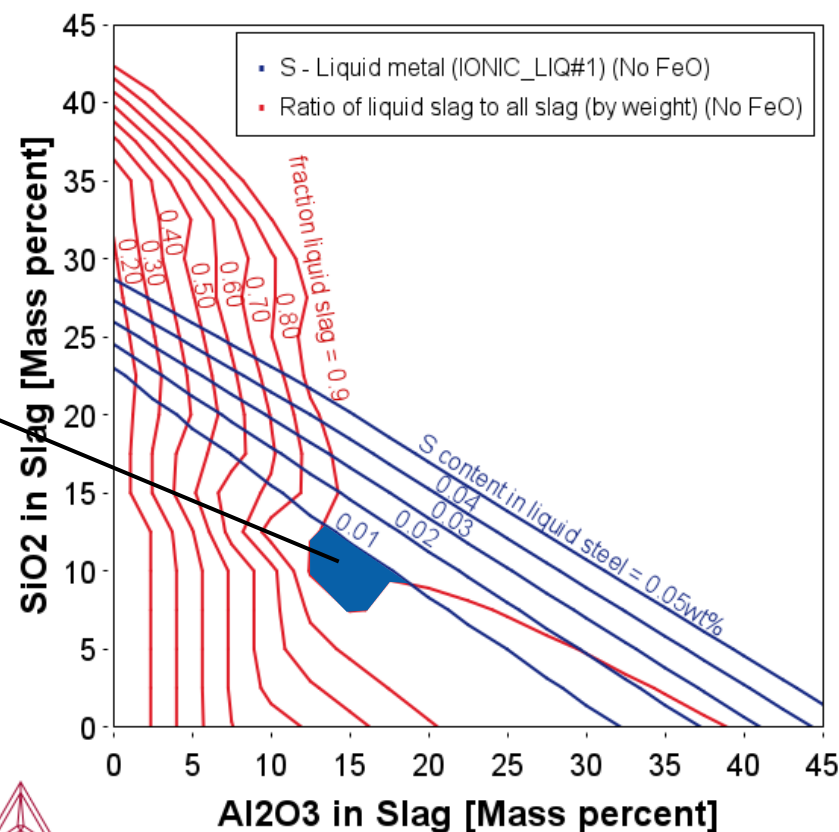
例題のファイル：Ex-7_Ladle-Furnace_TCOX.tcu

- (青塗潰部)

CaO-10wt%SiO₂-15wt%Al₂O₃
の組成が脱硫工程で理想的な
スラグ組成

- スラグが90%以上液相で、
溶鋼中S含有量が0.01wt%以下

液体のスラグ相 (SiO₂とAl₂O₃) の割合
(赤等高線) と、スラグと平衡状態にある
溶鋼中のS含有量 (青等高線) の関係

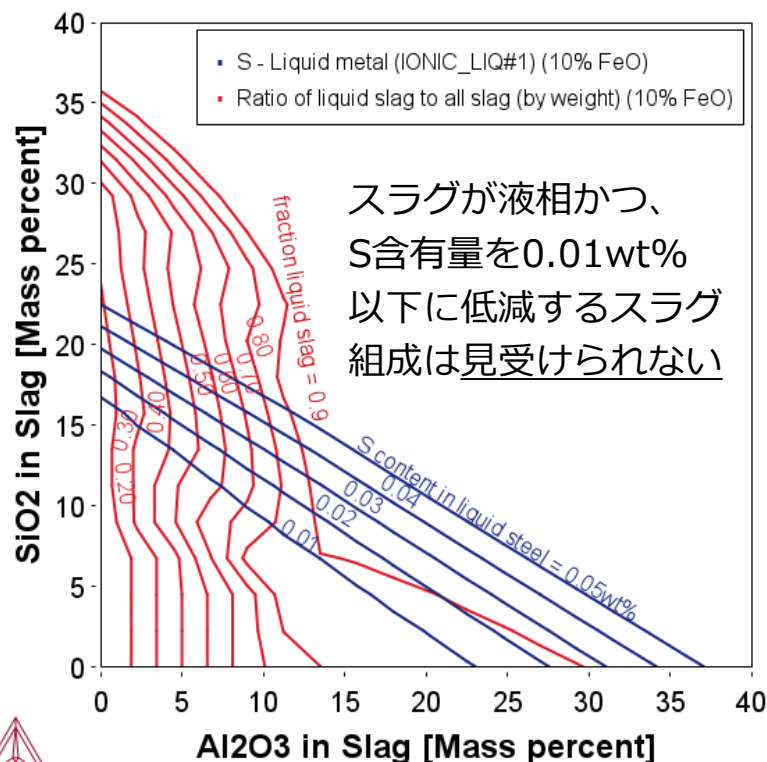


追加例題：

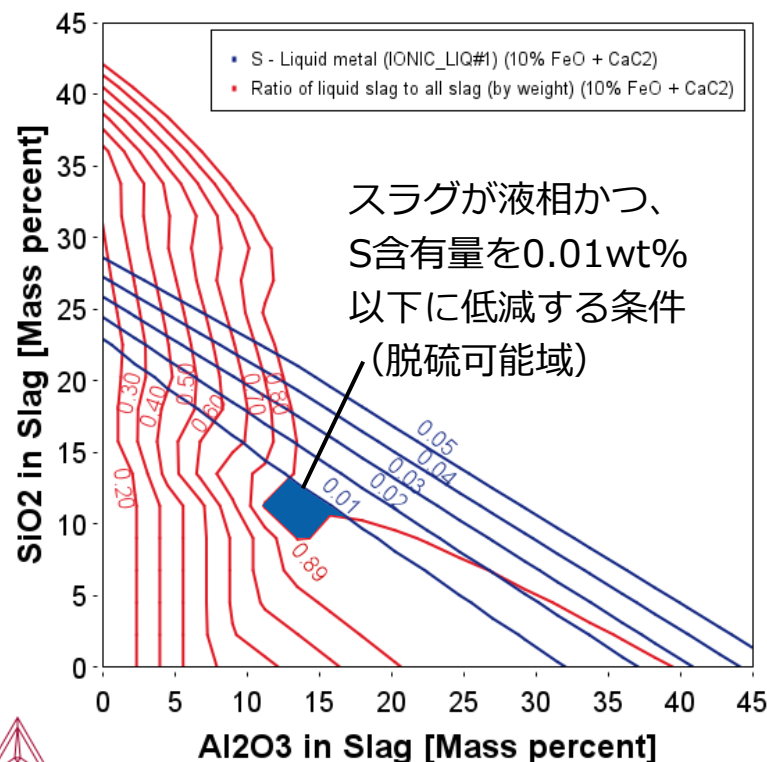
例題のファイル：Ex-7_Ladle-Furnace_TCOX.tcu

- スラグにFeOが10wt%混入した場合には、スラグ調整剤（CaC₂など）でスラグを脱酸することで脱硫能を回復

スラグにFeOが10wt%混入した場合



スラグにFeOが10wt%混入 +CaC₂を100kg添加



1. BOF(転炉)プロセス

2. Tapping (出鋼)プロセスにおける脱酸素

3. LF (炉外精錬炉)プロセスにおける脱硫

4. 精錬過程 (LF) において速度論を考慮 (EERZモデル)

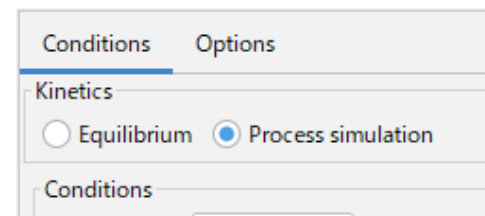
- 精錬過程(LF)において速度論を考慮(EERZモデル)
- EERZ (有効平衡反応域) モデル
- LFでEERZモデルを導入する際の計算設定
- LFでEERZモデルを導入した計算事例

5. VOD (真空酸素脱炭) プロセス

4. 精錬過程(LF)において速度論を考慮(EERZモデル)

EERZモデル (Effective Equilibrium Reaction Zone : 有効平衡反応域モデル) :

- 反応域 (溶鋼/スラグ界面) と溶鋼・スラグの間の熱伝導・物質拡散を考慮し、炉内の反応を速度論的に解析
- 冶金プロセスモジュールでは2020bより、本モデル機能が追加
- 計算設定で“Process Simulation”を選択すると、EERZモデルが適用



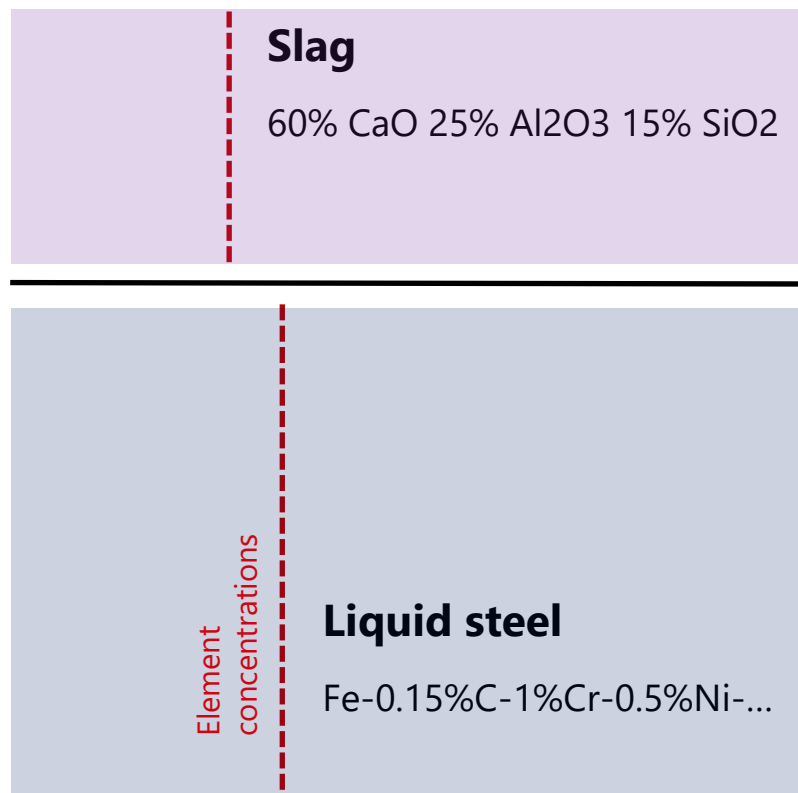
LF過程での適用例 :

溶鋼をアーク放電で加熱したり、Arガスや窒素ガスで、アルミ酸化物などの不純物や介在物を浮遊させ除去したり、硫黄などの不要元素を溶鋼とスラグ相との反応で除去

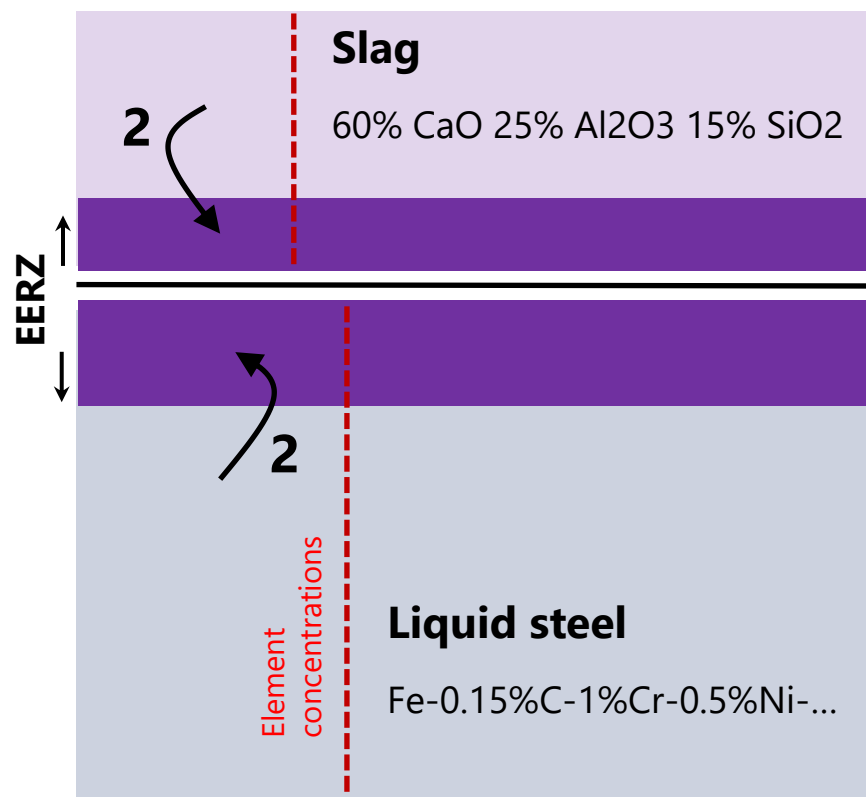
→ 計算で考慮可能

EERZモデルについて：

1. スラグ相と溶鋼相が隣接
（平衡状態ではない初期状態）

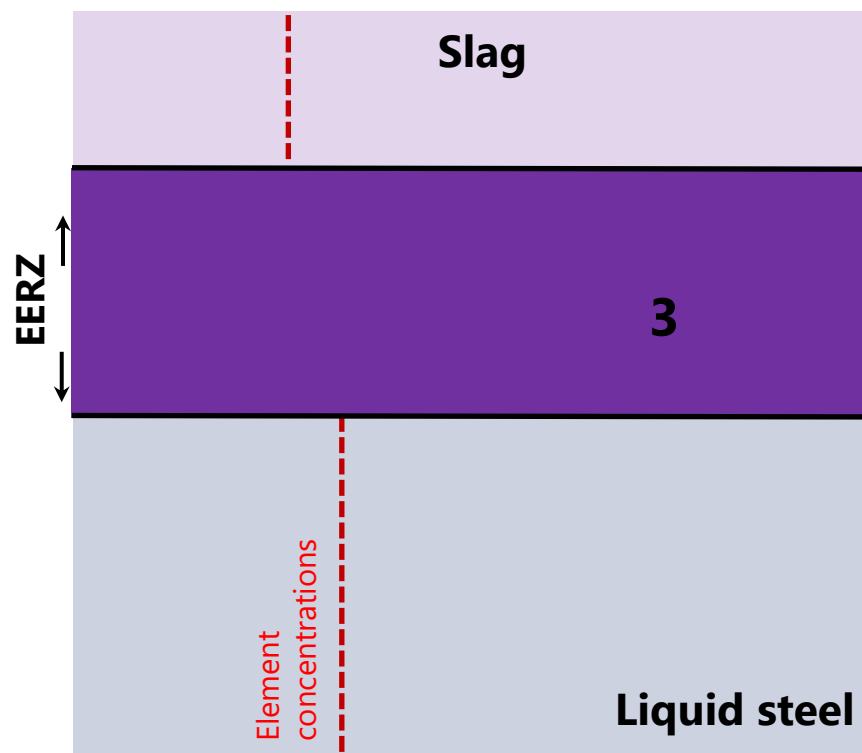


EERZモデルについて：



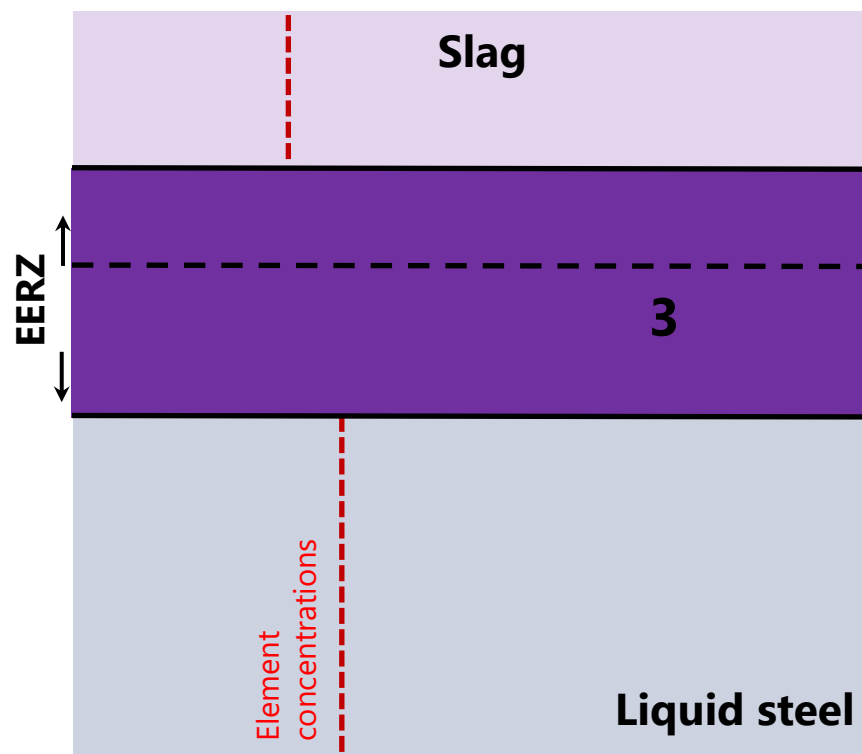
1. スラグ相と溶鋼相が隣接
(平衡状態ではない初期状態)
2. 溶質が移動し、反応域が形成

EERZモデルについて：



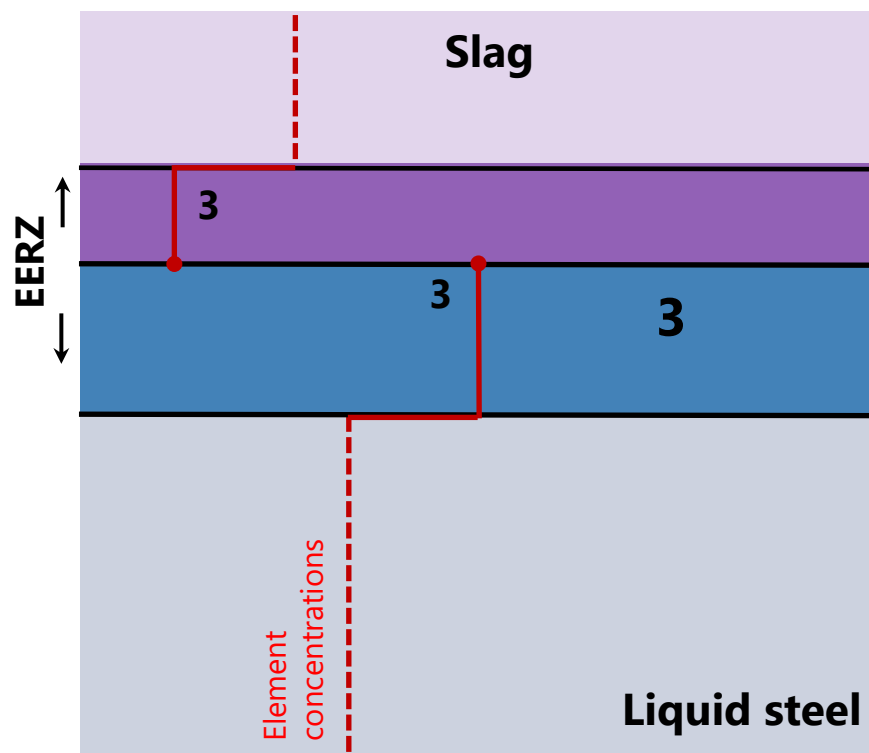
1. スラグ相と溶鋼相が隣接
(平衡状態ではない初期状態)
2. 溶質が移動し、反応域が形成
3. 溶鋼相の一部とスラグ液相の一部を含む有効平衡反応域
(EERZ) が定義

EERZモデルについて：



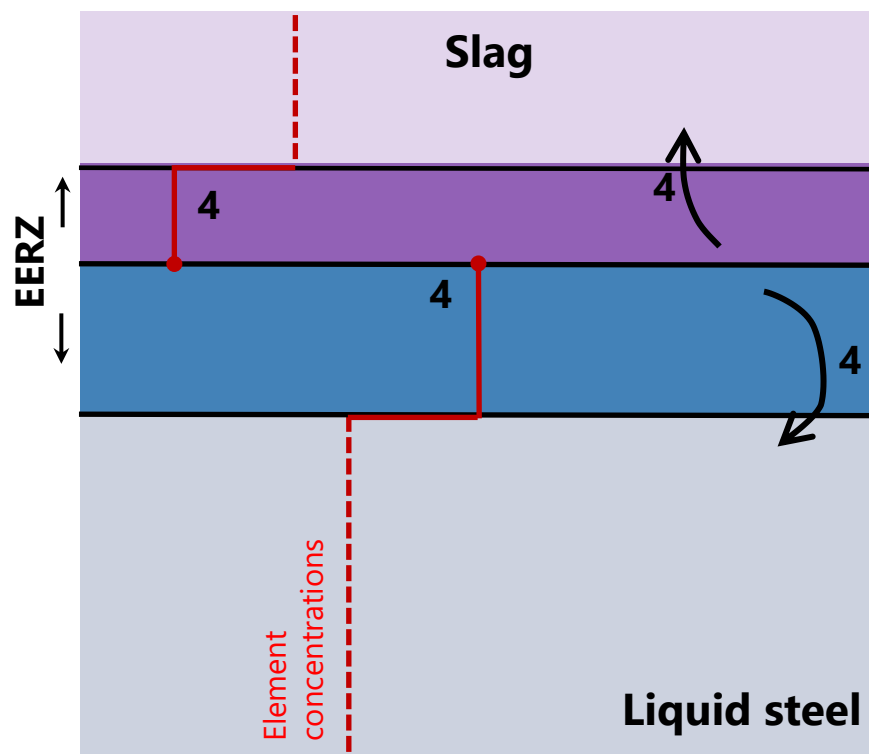
1. スラグ相と溶鋼相が隣接
（平衡状態ではない初期状態）
2. 溶質が移動し、反応域が形成
3. 溶鋼相の一部とスラグ液相の一部を含む有効平衡反応域
（EERZ）が定義

EERZモデルについて：



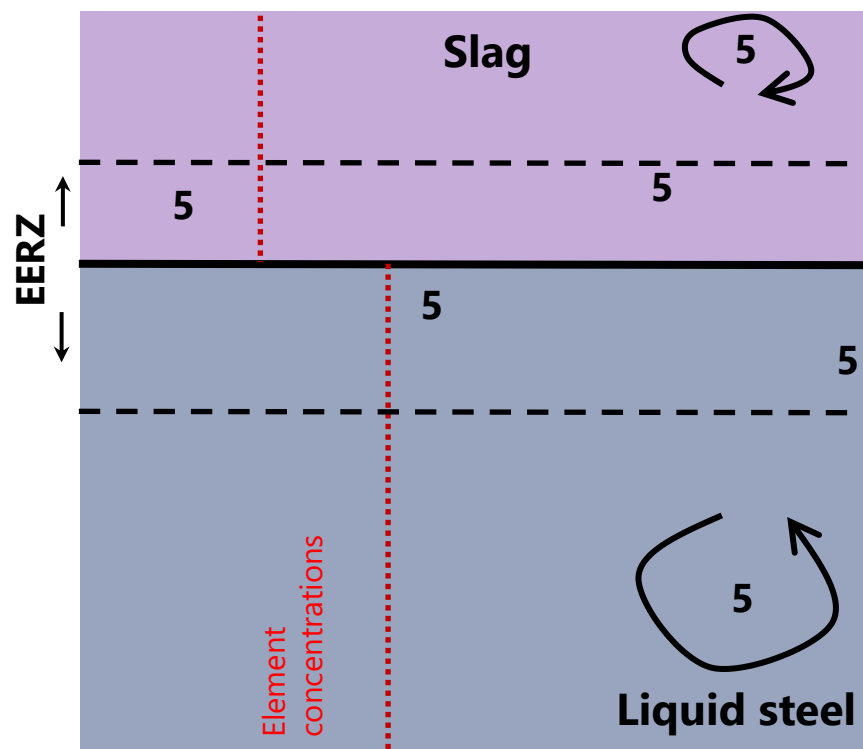
1. スラグ相と溶鋼相が隣接
（平衡状態ではない初期状態）
2. 溶質が移動し、反応域が形成
- 3.1 溶鋼相の一部とスラグ液相の一部を含む有効平衡反応域
（EERZ）が定義
- 3.2 EERZ内バルク化学組成を計算
- 3.3 EERZ内の平衡相分率を計算

EERZモデルについて：



1. スラグ相と溶鋼相が隣接
（平衡状態ではない初期状態）
2. 溶質が移動し、反応域が形成
- 3.1 溶鋼相の一部とスラグ液相の一部を含む有効平衡反応域（EERZ）が定義
- 3.2 EERZ内バルク化学組成を計算
- 3.3 EERZ内の平衡相分率を計算
4. EERZ内の酸化物相は残りのスラグ相と混合し、
EERZ内の金属相は残りの溶鋼相と混合

EERZモデルについて：



1. スラグ相と溶鋼相が隣接
（平衡状態ではない初期状態）
2. 溶質が移動し、反応域が形成
- 3.1 溶鋼相の一部とスラグ液相の一部を含む有効平衡反応域（EERZ）が定義
- 3.2 EERZ内バルク化学組成を計算
- 3.3 EERZ内の平衡相分率を計算
4. EERZ内の酸化物相は残りのスラグ相と混合し、EERZ内の金属相は残りの溶鋼相と混合
5. より平衡に近い新しい溶鋼とスラグの組成が決定

References

- J. Peter, K.D. Peaslee, D.G.C. Robertson, and B.G. Thomas, Proc. AISTech, 2005, vol. 1, pp. 959 – 73
- A. Harada, N. Maruoka, H. Shibata, and S. Kitamura, ISIJ Int., 2013, vol. 53, pp. 2110 - 2117
- M.-A. van Ende and I.-H. Jung, Met. Mat Trans. B, 2017, Vol 48B, pp. 28 - 36

計算設定として主に3ステップ：

例題のファイル：

PMET_06_Ladle_Furnace_Kinetics.tcu

1. Process Model設定：

プロセスの種類や装置形状に応じて、圧力や、溶鋼やスラグ相の領域設定、反応（速度）、熱伝達の定義などのパラメータを設定

2. Material設定：

プロセス中に使用される溶鋼やスラグ、添加元素などの材料組成を定義

3. Process Schedule設定：

実際の製鋼プロセスで、どの材料を、どのタイミングで、どのくらいLFに添加するかを定義

例題ではK. J. Graham and G.A. Irons (2009), "Toward Integrated Ladle Metallurgy Control"

に記載されているLFプロセスに基づいた計算設定

1. Process Model設定：

例題のファイル：

PMET_06_Ladle_Furnace_Kinetics.tcu

プロセスの種類や装置形状に応じて、圧力①や、溶鋼やスラグ相の領域設定②、反応（速度）③、熱伝達④の定義などのパラメータを設定

計算条件の設定画面

Edit Process Model

Pressure: Constant Pascal 100000.0 ①

Zones:

+ -

Name: Steel density: 7800.0 kg/m³ ☒ Allow degassing

+ -

Name: Slag density: 4500.0 kg/m³ ☒ Allow degassing ②

Reactions:

+ -

Reaction zone area: 19.6 m² ☒ Allow degassing

Zone 1: Steel mass transfer coefficient: Constant 9.0E-4 m/s

Zone 2: Slag mass transfer coefficient: Constant 4.7E-5 m/s

+ -

Transfer of phase group All oxides 3.0 %/min from zone: Steel to zone: Slag ③

Heat:

+ -

Heat transfer between zones: Steel and Slag with heat transfer coefficient 5000.0 W/(m² K)

+ -

Constant cooling name: Cooling of steel Zone Steel 3.2 MW

+ -

Heat name: Electric arc heating Reaction Zone Steel / Slag MW efficiency: 100.0 % ④

Save OK Cancel

2. Material設定：

プロセス中に使用される溶鋼①やスラグ②、添加元素③などの材料組成を定義

例題のファイル：

PMET_06_Ladle_Furnace_Kinetics.tcu

計算条件の設定画面

Materials | Process schedule

Material: Steel with temperature: 1600.0

Added to: Zone Steel

Input type: Mass percent Element Major component

Major component:

Fe	99.76
Mn	0.12
Si	0.008
Al	0.001
Ti	0.001
S	0.06
O	0.01
C	0.04
Total:	100.0

①

Material: Slag with temperature: 1600.0

Added to: Zone Slag

Input type: Mass percent Component Normalize to total of 100%

Component:

CaO	50.0	50.0
Al ₂ O ₃	31.1	31.1
MgO	8.0	8.0
SiO ₂	5.0	5.0

②

Material: Gas Argon with temperature: 20.0

Added to: Zone Steel

Input type: Mass percent Gas component Major component

Major component: Ar 100.0

Total: 100.0

③

Material: Additions Metal Al with temperature: 20.0

Added to: Zone Steel

Input type: Mass percent Element Normalize to total of 100%

Component: Al 100.0 100.0

Total: 100.0 100.0

③

Material: Additions Slag Lime with temperature: 20.0

Added to: Zone Slag

Input type: Mass percent Component Normalize to total of 100%

Component: CaO 100.0 100.0

Total: 100.0 100.0

③

Material: Additions Metal FeMn with temperature: 20.0

その他ガスや
追加スラグの組成

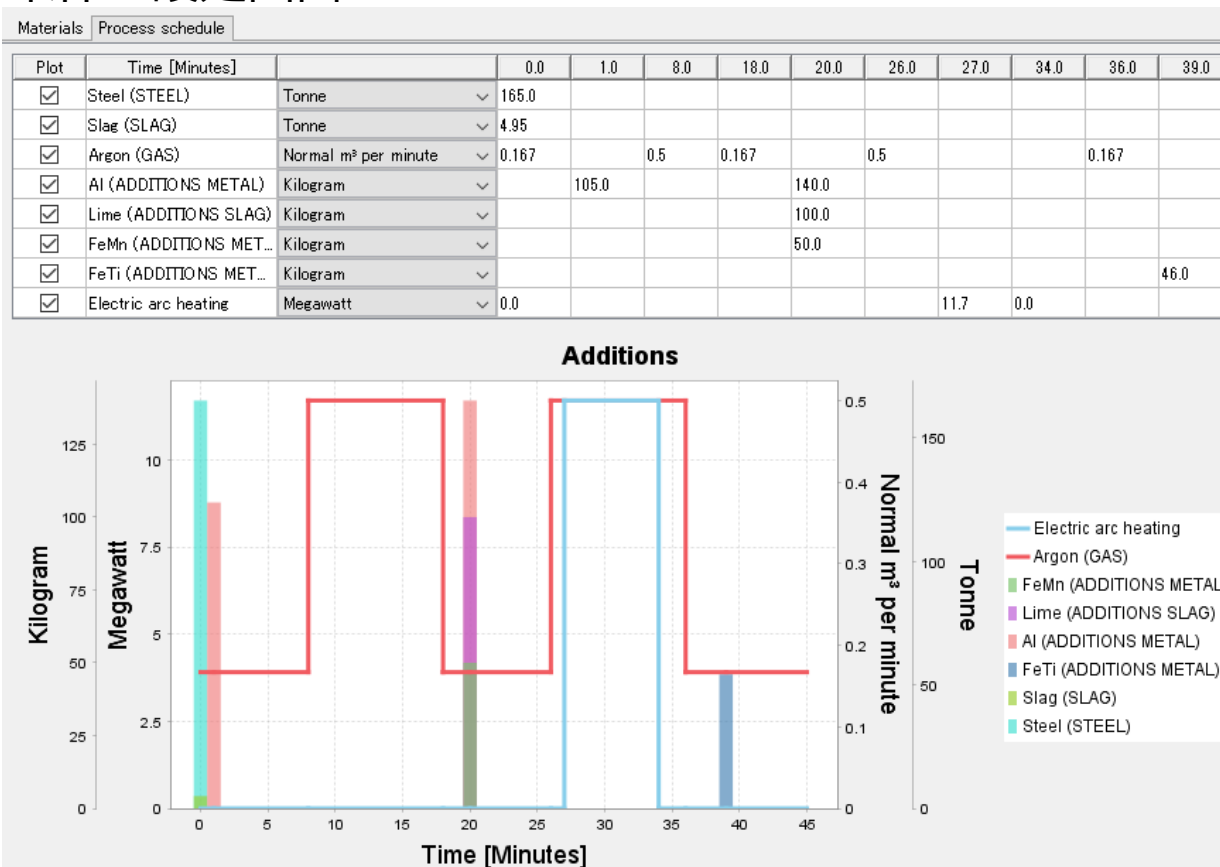
3. Process Schedule設定：

例題のファイル：

PMET_06_Ladle_Furnace_Kinetics.tcu

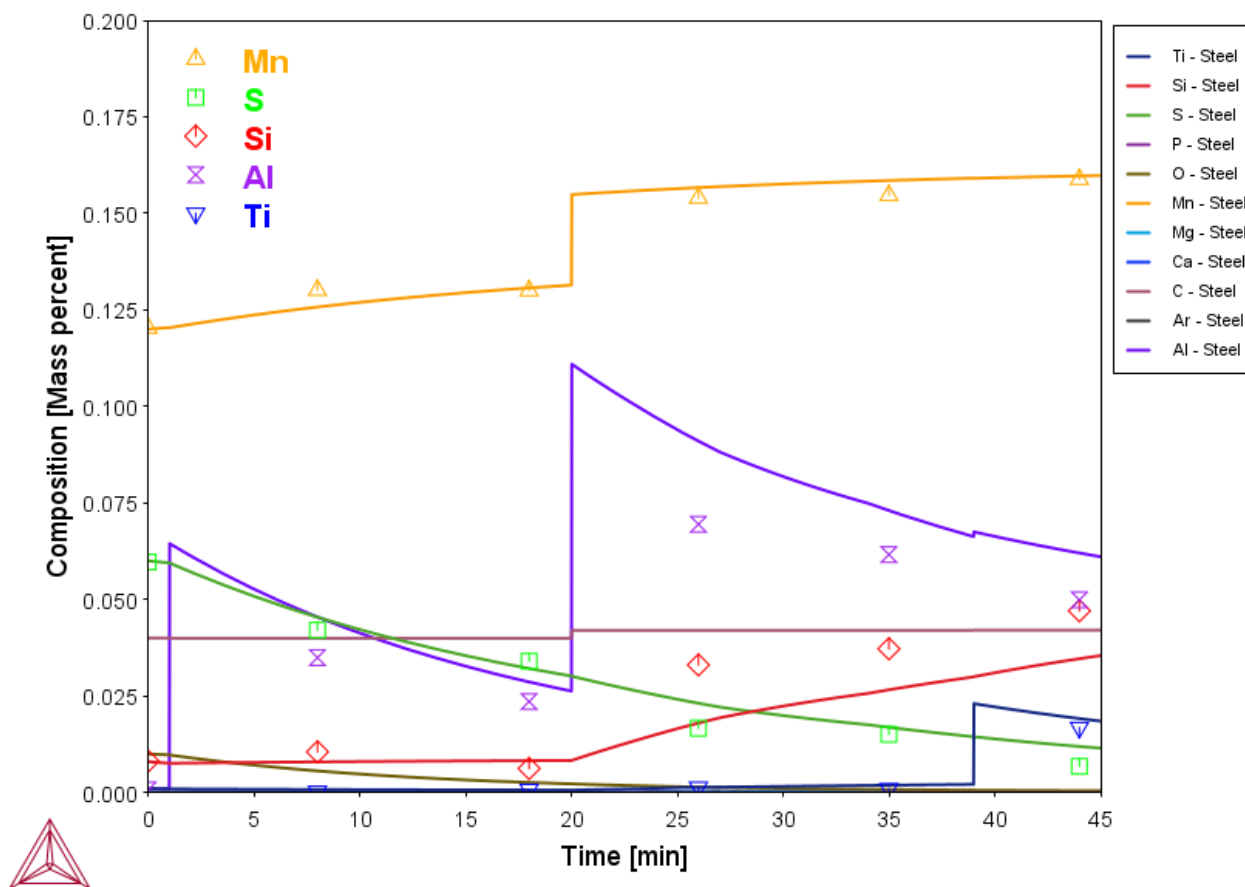
実際の製鋼プロセスで、どの材料を、どのタイミングで、どのくらいLFに添加するかを定義

計算条件の設定画面



計算結果：LFプロセスにおいて、溶鋼中の組成変化（プロットは実験点）

- 溶鋼中溶存元素（Mn, S, Si, Al, Ti）量の変化を再現



1. BOF(転炉)プロセス

2. Tapping (出鋼)プロセスにおける脱酸素

3. LF (炉外精錬炉)プロセスにおける脱硫

4. 精錬過程 (LF) において速度論を考慮 (EERZモデル)

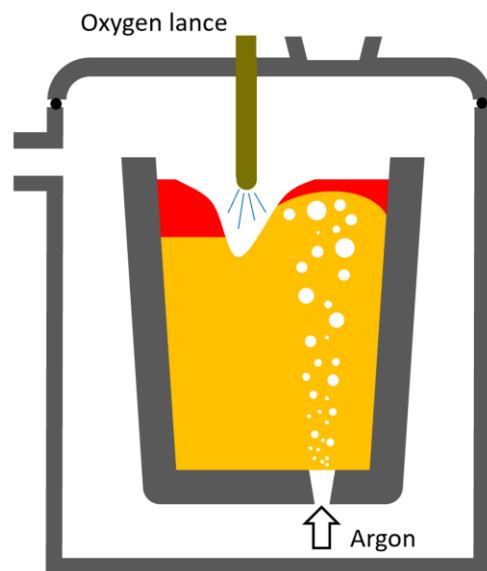
5. VOD (真空酸素脱炭) プロセス

- VOD (真空酸素脱炭) プロセス
- VODプロセス計算設定
- VOD計算事例

真空酸素脱炭(VOD)過程：

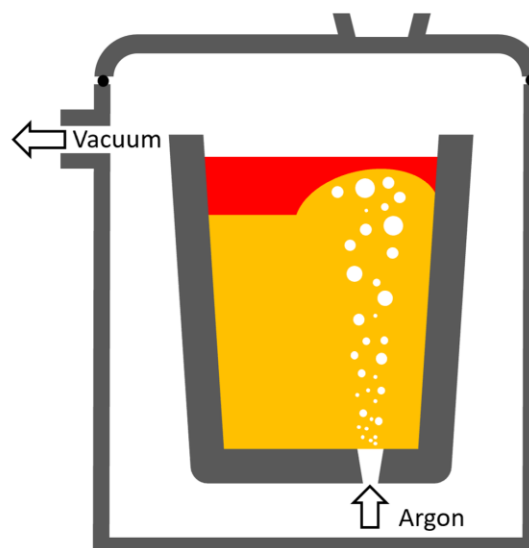
- 真空状態で取鍋中の溶鋼を攪拌し、炭素のほか、非金属介在物を除去（要件の一つとして、Crの歩留まりを損なわないこと）
- VODプロセスにおける主な3つのステージ（酸素吹き込み、脱ガス、還元）

酸素吹き込み



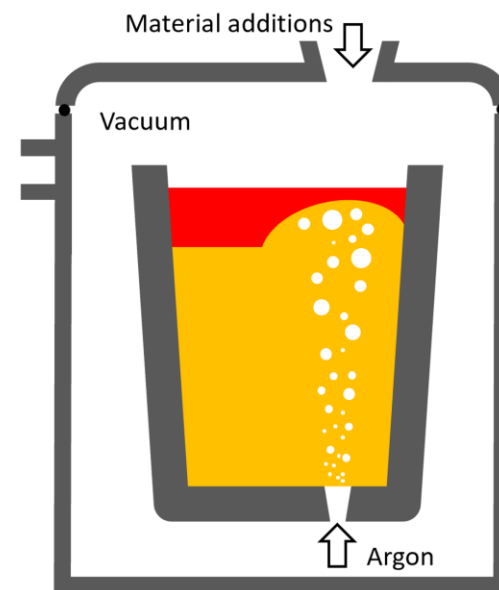
t = 0 to 45 min

真空下の脱ガス



t = 45 to 55 min

還元



t = 55 to 90 min

VODプロセスデータに基づく : R. Ding, et al., "Modeling of the vacuum oxygen decarburization refining process", Met. Mater. Trans 31B (2000) 197-206.

例題のファイル:
PMET_07_Vacuum_Oxygen_
Decarburization_Kinetics_tcu

1. Process Model設定 :

プロセスの種類や装置形状に応じて、圧力①や銑鉄やスラグ相の領域設定（どこからガスを逃がすか）②、反応（速度）③、熱伝達④の定義などのパラメータを設定

計算条件の設定画面

Edit Process Model

Pressure: Table input ①

Zones:

Name	density	kg/m³	Allow degassing
Steel	7800.0	kg/m³	☐
Slag	4500.0	kg/m³	☐

②

Reactions:

Reaction zone: Reaction zone ② area: 10.0 m² ☒ Allow degassing

Zone 1: Steel mass transfer coefficient: Table input

Zone 2: Slag mass transfer coefficient: Table input ③

Transfer of phase group: All oxides 5.0 %/min from zone: Steel to zone: Slag

Heat:

Heat transfer: Heat transfer between zones: Steel and Slag with heat transfer coefficient 5000.0 W/(m² K) ④

Constant cooling: name: Cooling of steel Zone: Steel 3.7 MW

Save OK Cancel

VODプロセスデータに基づく : R. Ding, et al., "Modeling of the vacuum oxygen decarburization refining process", Met. Mater. Trans 31B (2000) 197-206.

例題のファイル:
PMET_07_Vacuum_Oxygen_
Decarburization_Kinetics_tcu

2. Material設定 :

プロセス中に使用される銑鉄①やスラグ②、添加元素③などの材料組成を定義

計算条件の設定画面

Materials
Process schedule

Material: Steel Steel with temperature: 1549.0
Added to: Zone Steel Hide composition
Input type: Mass percent Element Major component Save material
Major component: Fe 71.83 ①
C 0.48
Si 0.2
Mn 0.55
Cr 16.45
Ni 10.49
Total: 100.0

Material: Slag Slag with temperature: 1549.0
Added to: Zone Slag Hide composition
Input type: Mass percent Component Major component Save material
Major component: CaO 60.0 ②
SiO2 12.0
MgO 28.0
Total: 100.0

Material: Gas Oxygen with temperature: 20.0
Added to: Zone Steel Hide composition
Input type: Volume percent Gas component Major component Save material
Major component: O2 100.0
Total: 100.0

Material: Additions Metal Reducing metallic material with temperature: 20.0
Added to: Zone Steel Hide composition
Input type: Mass percent Element Major component Save material
Major component: Fe 9.0 ③
Si 32.0
Mn 35.0
Al 12.0
Cr 12.0
Total: 100.0

Material: Additions Slag Reducing slag material with temperature: 20.0
Added to: Zone Slag Show composition

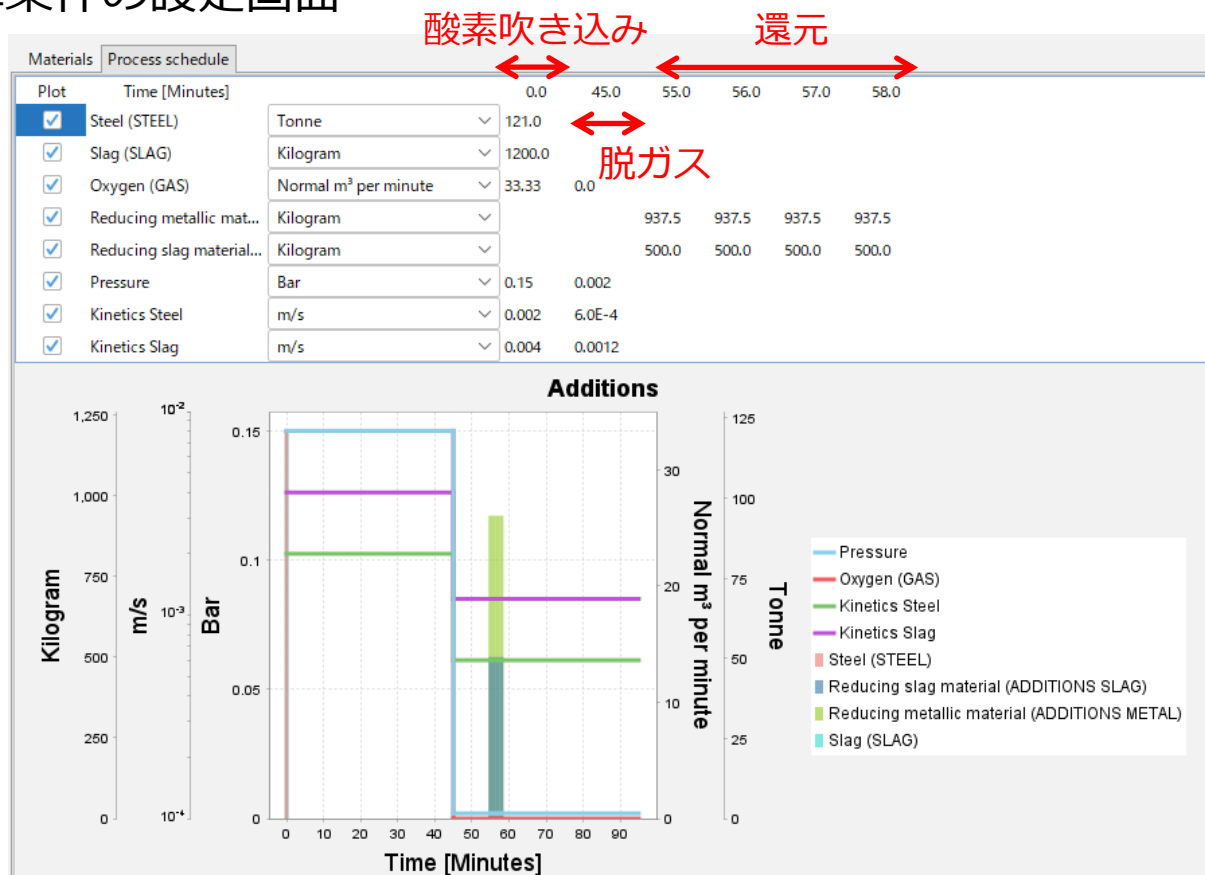
VODプロセスデータに基づく : R. Ding, et al., "Modeling of the vacuum oxygen decarburization refining process", Met. Mater. Trans 31B (2000) 197-206.

例題のファイル:
PMET_07_Vacuum_Oxygen_
Decarburization_Kinetics_tcu

3. Process Schedule設定 :

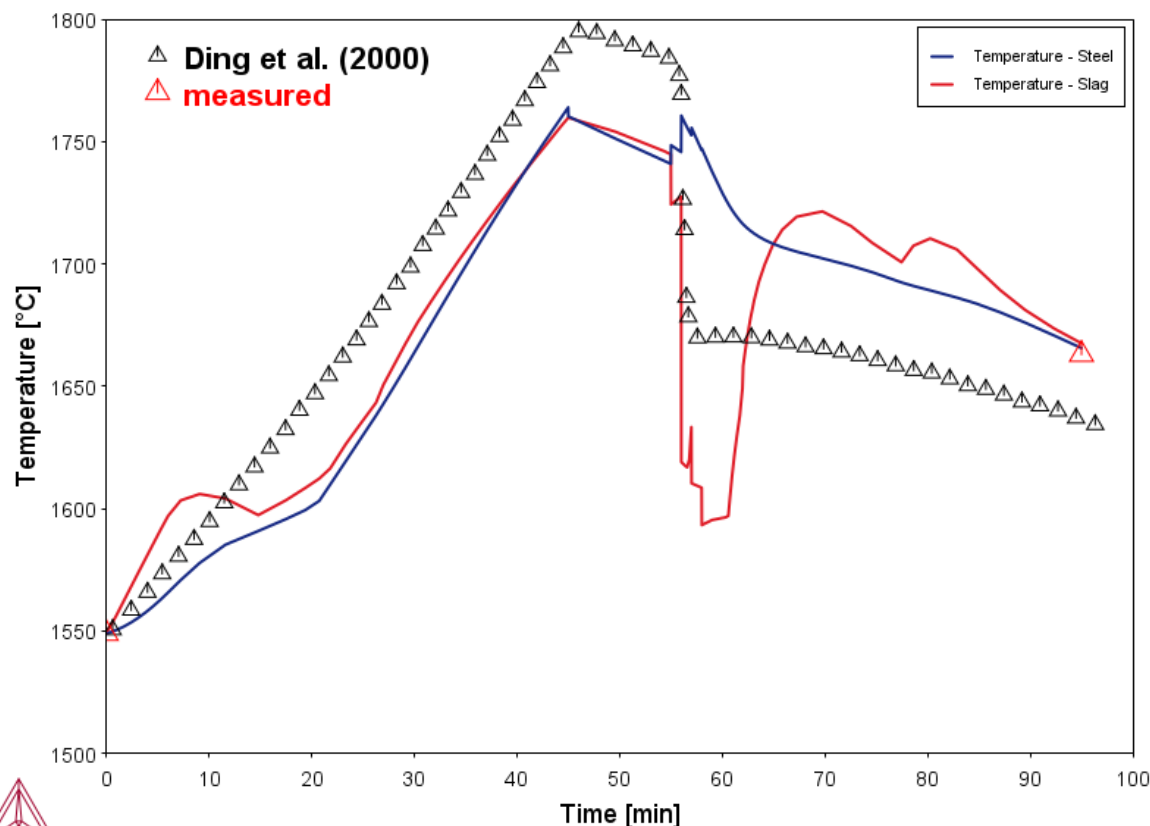
材料の投入量、タイミングのほか、VODプロセスの圧力設定を定義

計算条件の設定画面



計算結果：VODプロセス中の溶鋼とスラグの温度変化（青:溶鋼, 赤:スラグ）
（プロットは文献値と測定データ）

- 酸素吹き込みによる温度上昇（～45min）やスラグ形成剤投入による温度低下（55min～）を再現



伊藤忠テクノソリューションズ株式会社

科学システム本部

東京都港区虎ノ門4-1-1 神谷町トラストタワー

E-mail.: thermo-calc@ctc-g.co.jp

URL: <http://www.engineering-eye.com/>

engineering-eye

シミュレーションで見えてくる