

特点描述

- ◆ 通过对 Al、Mg、Si、Ca、Fe 的定量面分析，可以调查烧结矿的矿物组织。
- ◆ 可以为研究铁酸钙相的成分做出贡献。
- ◆ 通过微量磷的定量分析，可以为高磷铁灰石的有效利用研究做出贡献。

简介

为了在 2050 年实现碳中和的目标，全球都在开展二氧化碳 (CO₂) 减排工作。氢还原炼铁是用氢气代替焦炭（碳）还原铁矿石的方法。另外，包括在高炉中使用氢的氢还原技术（COURSE50）在内，正在开展减少炼铁过程中的 CO₂ 排放量的技术研究。最近，由于高品位铁矿石的枯竭，二氧化硅 (SiO₂)、氧化铝 (Al₂O₃)、磷等的杂质含量较多的低品位矿石正在被大量使用。今后，杂质的增加会越来越来多，作为高炉的主要铁源，保证烧结矿的品质会愈发困难。

本文介绍了使用电子探针显微分析仪 EPMA™ (EPMA-8050G) 分析氢还原前的烧结矿的案例。

烧结矿的组织

烧结矿由赤铁矿、磁铁矿、铁酸钙和矿渣构成。图 1 的 OM-image 是烧结矿的光学显微镜图像，其中，右上角的高亮度组织是赤铁矿 (Fe₂O₃)，右上角的针状或柱状组织是铁酸钙，中央附近是磁铁矿 (Fe₃O₄) 和铁酸钙的混合组织。

图 1 的元素分布图像是对 OM-image 的红色区域进行面分析，将各元素换算成单纯氧化物（铁为 Fe₂O₃）的 wt% 浓度的结果，图 1 的 CaO/SiO₂ 图像表示碱度。从中可知，COMPO 图像的亮对比度区域是氧化铁。从中可知，铁酸钙的碱性成分氧化钙 (CaO) 与 SiO₂ 呈正相关，碱性成分氧化镁 (MgO) 与 SiO₂ 呈反相关。另外，氧化铁会随着铁酸钙中的 Al₂O₃ 的增加而减少。从中可知，含有微量磷 (P)、硫 (S)、钾 (K)、钛 (Ti) 的组织是多种矿物成分等熔融结合形成的矿渣 (Slag)。

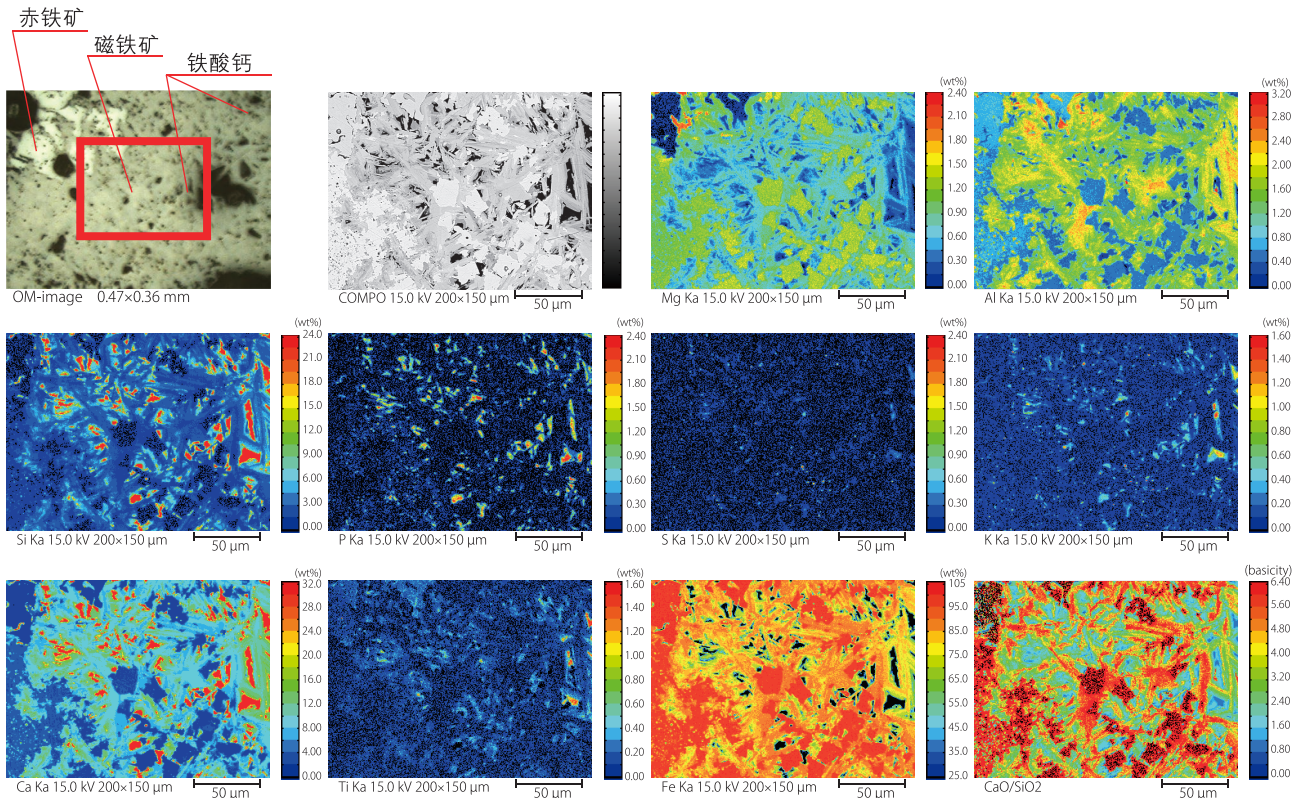


图 1 烧结矿的面分析

■ 烧结矿的氧化铁

烧结矿含有作为氧化铁的赤铁矿和磁铁矿。图2用单一元素的 wt% 浓度表示氧 (O) 和铁 (Fe)，以识别氧化价的差异。

图3是表示基于理论氧化铁浓度的化合物位置的 Fe-O 散点图，可发现在赤铁矿和磁铁矿的化合物显示区域有集群。图4是使用图3中的 Fe-O 散点图过滤的相图。相图的紫色区域是赤铁矿，红色区域是磁铁矿，黄色和蓝色区域是铁酸钙，绿色区域是矿渣。

图5中的矩阵显示的是使用图3中所示的相色显示每种元素 (Mg、Al、Si、Ca、Fe) 的组成的散点图。我们可以看到各元素的相关性，表明在氧化铁的 Fe 减少的同时，铁酸钙的 Si、Ca 增加，Mg 减少。图6的 Si-Fe-Ca 散点图表明，由于集群呈直线状，表示相对于 Fe 的量来说，Si 与 Ca 的成分比基本相同。

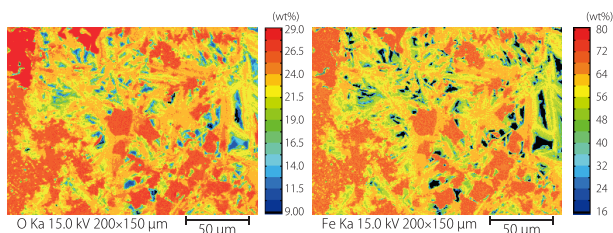


图2 烧结矿的 O、Fe 面分析

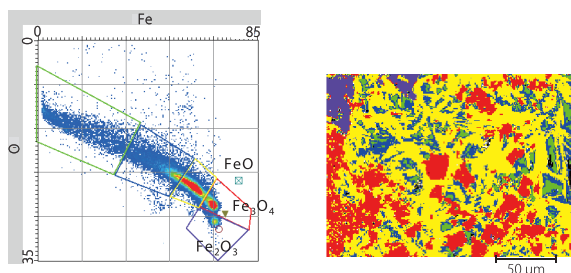


图3 Fe-O 散点图

图4 烧结矿的相图

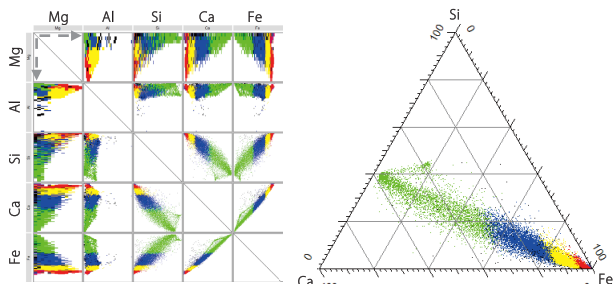


图5 矩阵显示

图6 Si-Fe-Ca 散点图

■ 烧结矿的铁酸钙

图7是变更为单纯氧化物 (铁为 Fe_2O_3) 的成分、用 mol% 表示的 SiO_2 - Fe_2O_3 -CaO 散点图。图8是使用图7的散点图过滤的相图，与图4基本相同，相对于 Fe_2O_3 的 mol%，98 mol% 以上为 Fe_2O_3 (紫色)、85 ~ 98 mol% 为 Fe_3O_4 (红色)、60 ~ 85 mol% 为 Ca-ferrite-1 (黄色)、40 ~ 60 mol% 为 Ca-ferrite-2 (蓝色)、小于 40 mol% 为 Slag (绿色)。通过图9、图10可知与图7的 MgO 和 Al_2O_3 的成分比的相关性。

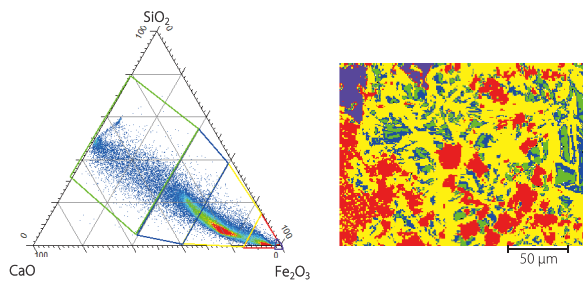


图7 SiO_2 - Fe_2O_3 -CaO 散点图

图8 烧结矿的相图

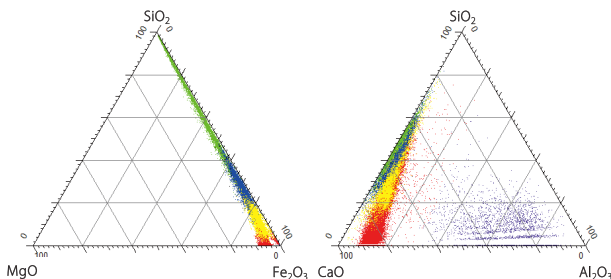


图9 SiO_2 - Fe_2O_3 -MgO 散点图

图10 SiO_2 - Al_2O_3 -CaO 散点图

■ 烧结矿组织的定量

表1是图8的相图所示的赤铁矿之外的烧结矿组织的定量分析结果，表2是表示单纯氧化物的 mol% 的结果。根据 CaO 和 SiO_2 的 mol 浓度比，判断 Slag 为 $2CaO \cdot SiO_2$ 类。另外，磷只在 Slag 相中检出，表明烧结矿制造时，磷浓缩在 Slag 中。

表1 烧结矿组织的定量 (wt%)

	O	Mg	Al	Si	P	S	K	Ca	Ti	Mn	Fe	Total
Magnetite	27.53	1.01	0.29	0.03	0.00	0.00	0.00	1.24	0.03	0.28	70.61	101.01
Ca-ferrite-1	28.09	0.61	1.30	0.95	0.00	0.00	0.00	6.10	0.03	0.17	61.96	99.23
Ca-ferrite-2	29.28	0.31	1.23	3.32	0.00	0.01	0.00	9.90	0.12	0.11	54.29	98.57
Slag	31.49	0.10	0.37	13.19	1.80	0.18	0.53	34.59	0.13	0.04	7.88	90.29

表2 烧结矿组织的定量 (mol%)

	MgO	Al_2O_3	SiO_2	P_2O_5	SO_3	K_2O	CaO	TiO_2	MnO	Fe_2O_3
Magnetite	5.47	0.72	0.14	0.01	0.00	0.01	4.21	0.07	0.70	88.68
Ca-ferrite-1	3.02	2.91	4.10	0.00	0.01	0.01	18.86	0.09	0.39	70.62
Ca-ferrite-2	1.38	2.46	12.85	0.01	0.05	0.00	27.40	0.27	0.22	55.37
Slag	0.29	0.48	31.95	2.02	0.38	0.46	59.05	0.20	0.05	5.12

■ 结论

通过烧结矿的定量面分析和相分析，可以识别氧化铁、铁酸钙和矿渣，可用于组织分析和还原等的研究开发。另外，通过获取微量的 P、S、Mn、Ti 等，的微量含量，本应用有望用于从烧结矿的各种角度改进评估方法。

本应用的编写过程中，在提供样本和数据分析指导方面得到了东北大学研究生院环境科学研究科的村上太一教授的大力支持。在此表示衷心地感谢。

< 参考文献 >

- 1) Zhi Quan WANG, Yasushi SASAKI, Yoshiaki KASHIWAYA and Kuniyoshi ISHII: 铁和钢、Vol. 86、No.6, 370 (2000)

岛津应用云



EPMA 是岛津制作所株式会社或其相关公司在日本及其他国家 / 地区的商标。



岛津企业管理 (中国) 有限公司
岛津 (香港) 有限公司

<http://www.shimadzu.com.cn>

用户服务热线电话: 800-810-0439
400-650-0439

免责声明:

* 本资料未经许可不得擅自修改、转载、销售;
* 本资料中的所有信息仅供参考, 不予任何保证。
如有变动, 恕不另行通知。

第一版发行日: 2023年08月