

耐火物のかほり(2)

3. 最初の発明、珪石れんが

ルネッサンスから宗教と科学の分離が提唱され、科学が著しく進展した。16世紀に、地動説（コペルニクス）、17世紀には運動法則（ニュートン）が確立された。そして、18世紀になると熱工学の研究も進み、ウエッジウッドによって焼成温度を管理する科学的な方法も考案された。

また、産業界では水車の登場から生産の機械化がはじまっていた。18世紀にワットによる蒸気機関の改良発明がなされると産業の発展が一段と加速された。そしてこの頃に誕生、成長した産業の多くは高熱を必要としていた。

このような社会環境のなか、1820年にW.W.ヤングによって珪石焼成れんがが発明された。珪石の化学組成は SiO_2 （シリカ）で示されるが、結晶構造には石英、トリジマイト、クリストバライトの鉱物が存在し、さらにそれぞれの鉱物に低温型（ α 相）・高温型（ β 相）がある（図1参照）¹⁾。シリカ鉱物間の転移、 α - β 型転移には異常膨張が伴う。こうしたシリカの鉱物・結晶相の多様性の由に、それまで珪石焼成れんがの製造は不可能とされていたのである。このシリカの変態挙動を制御してれんがの亀裂発生を抑えた秘訣は、少量の石灰（CaO）を添加して、徐々に昇温し、1400~1470℃で十分焼成することであった。

珪石れんがの主原料は石英結晶からなる天然の珪岩である。焼成によって石英結晶の大部分はトリジマイト、クリストバライトに転移する。少量の石灰の添加は、比較的低温で融液を生成し、液相を介しての溶解-析出反応によって相転移と焼結を促す。しかもシリカ

の融点に至るまで液相生成量が極めて少ない優れた焼結助剤である（図2）²⁾。

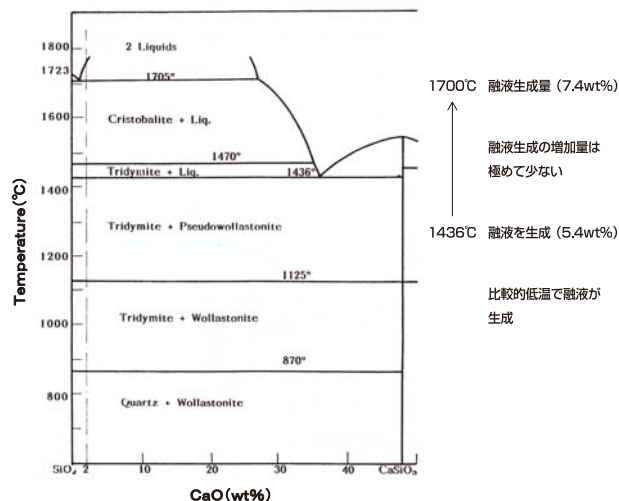


図2 CaO-SiO₂系相平衡状態図
(98wt%SiO₂-2wt%CaO組成物の検討)

1856年英国ニース工場で珪石れんがの製造が開始された。珪石れんがは600℃以上では容積変化が小さく、高温でも荷重によるクリープ変形が少ないなど優れた熱間特性を有している。このため、当時開発されたばかりのガスレトルト、ベッセマー転炉、平炉、ガラス溶解炉などに、粘土質耐火れんがを超える材質として急速に普及していった。現在でもコークス炉には不可欠の耐火物として使用されている³⁾。

古代土器が進化した粘土質れんがが主体であった当時、科学との出会いと交流で誕生した珪石れんがは新しく発明された最初の耐火物と言われている。

4. プロセス開発の主役、タードロマイイトれんが

14~15世紀ころに木炭高炉が出現した。やがて木炭から石炭に変わり、18世紀初頭にコークス高炉が考案された。高炉は、降下物（粒塊状固体）と上昇高温ガスの対向流接触による効率のよい熱交換・化学反応装置で、天才的な大発明である。そして18世紀後半にはパドル炉が考案され、「製鉄-製鋼-圧延」の鉄鋼一貫作業製鉄所の原型ができた。その後も新しい製鉄法の考案が相次いで鉄の時代が始まった（表1参照）。

19世紀前半に熱風による高炉操業法、蒸気ハンマーが考案されると製鉄と圧延の効率が著しく上がり、製鋼

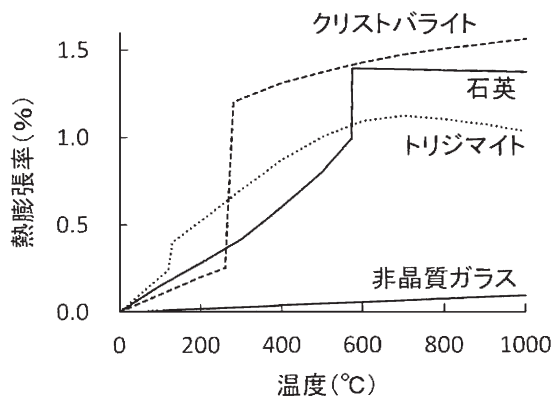


図1 シリカ鉱物の熱膨張率

工程が障害となってきた。このような状況下、1856年英国チェルトナムでヘンリー・ベッセマーの講演「火なしで鍛鉄と鋼の製造」が行われた。この製鋼法（ベッセマー転炉）は、梨形の単純な構造の炉底から空気を吹き込むだけでSi、C酸化熱が発生し、この熱で反応が進むので熱の補給が不要、しかも溶鋼の大量生産を可能にした（図3）³⁾⁴⁾。この発明は、核技術と対比されるほどに革命的（ソ連・バルジン）と絶賛された。

ベッセマー法は鋼の生産コストを1トン当たり40ポンドだったものを6～7ポンドに低減させたので、橋や建物などの大型構造材への鋼の使用が可能になった。しかし不純物リンの除去には無力で、含磷鉍石が使えなかった。炉壁が酸性の珪石れんがであったので、脱リンに有効な石灰（塩基性）を投入すると激しく反応して、転炉寿命が低下してしまうのである。欧州産出の9割が含磷鉍石であったので、依然として生産性の低いパドル法は残っていた。

この問題を解決したのが22年後に出現したトーマス転炉である。1878年シドニー・ギルクリスト・トーマスは新しく塩基性の「タールドロマイトレんが」を発明して、塩基性滓とあと吹きによる脱リン技術（ $P_2O_5 \rightarrow CaO \cdot P_2O_5$ ）を完成した。塩基性れんが開発の要点は、1）原料としてドロマイトに着目、2）溶着する高温度で焼いてクリンカーを製造、3）結合材として水

分を全く含まないタールを使用したことにある。含磷鉍石も使用できるトーマス転炉が発明されたことにより、独仏の製鉄業は発展し、世界中にトーマス転炉が広まっていった。そしてパドル法は消滅した。

この項のおわりに、製鋼プロセス開発の主役「タールドロマイトレんが」を発明したトーマスの苦闘と栄光の跡を顧みる⁴⁾。

- ・父親の死去により17歳の時に医学の道を断念し1867年裁判所の書記に就く。
- ・1870年パークベック学院、チャロナ教授の「ベッセマー転炉で脱リンした人は幸運を掴むであろう」の話を感銘を受け、脱リン理論と耐火物に関心を寄せる。
- ・ドロマイトに着目して研究を進める。
- ・1877年ブレナヴォン製鉄所、いとこカーライル・ギルクリストの協力を得て脱リンの成果を得る。
- ・1878年3月英国鉄鋼協会総会、討論会で発言するも参加者無関心。
- ・半年後の秋の総会（パリ）、講演を申し込むも時間なく不可。しかしヴォルゴー・アンド・ヴォーガン社が興味を示し試験を受諾。
- ・1879年4月4日公開試験で輝かしい成功。
- ・1ヶ月後の鉄鋼協会総会、トーマス講演、聴衆は堂に溢れる。
- ・8年後、36歳で世を去る。

表1 製鉄炉の発明年表

| | |
|-------|---------------------------------|
| 1709年 | コークス高炉 (A.ダービー) |
| 1735年 | るつぼ製鋼法 (ハンツマン) 鑄鋼の小規模生産 |
| 1765年 | 蒸気機関の改良発明 (J.ワット) |
| 1784年 | パドル炉(H.コート) 銑鉄-製錬-圧延 |
| 1828年 | 熱風による高炉操業法 (J.ネイルソン) |
| 1839年 | 蒸気ハンマーの発明 (J.ナスミス) |
| 1856年 | ベッセマー転炉 溶鋼の大量生産法 |
| 1858年 | シーメンス平炉 銑鉄-鉍石法 |
| 1864年 | マルチン平炉 屑鉄-銑鉄法 |
| 1879年 | トーマス転炉 塩基性耐火材 塩基性滓 あと吹き技術 |

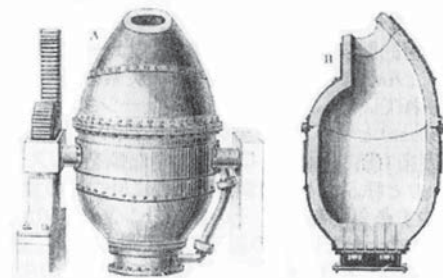


図3 ベッセマー転炉図

(参考)

- 1) 耐火物技術協会編, “耐火物手帳”, 耐火物技術協会(2015) PP.128-131
- 2) 山口明良, “相平衡状態図の読み方”, 耐火物技術協会(1993) PP.105-114
- 3) 杉田清, “炉の歴史物語”, 成山堂(2008)PP.29-70
- 4) 中沢護人, “鋼の時代”, 岩波書店(1964)PP.91-137

(研究所長 高長 茂幸)