

文献紹介： 「キュポラ」 年間展望

Giesserei Vol.97, 2010/09/20  
Thomas Enzenbach, Viersen  
翻訳 岡部 隆

2009年にVDGの100周年記念祭が行われ、Giesserei誌に興味あるテーマについての一連のシリーズの報告が発表された。これはVDGの75周年記念祭が行われた1984年からの報告と結びつくものであり、中でも“鑄鉄溶解のためのキュポラ及び他の燃料燃焼炉[1]”のと題する寄稿は、最近25年間の技術的発展を述べたものである。キュポラは鑄鉄溶解のための最も重要な装置としての意義を保持することは明らかで、近年技術的にも操業法的にも非常に発達をとげた。とりわけ熱効率の向上及び有害物質排出の減少を導く開発によって市場条件の変化ならびに一段と強化された環境法に応ずることに成功した。

1. 除塵技術と環境保護

R.R.Clark[2]は地球温暖化とこれが鑄鉄産業へ及ぼす影響について報告している。まず最初に温室効果ガスの排出に起因しない気候データの変化があり、これは図1に地質の歴史の経過に従う大気中の炭酸ガス濃度及び温度の変化で

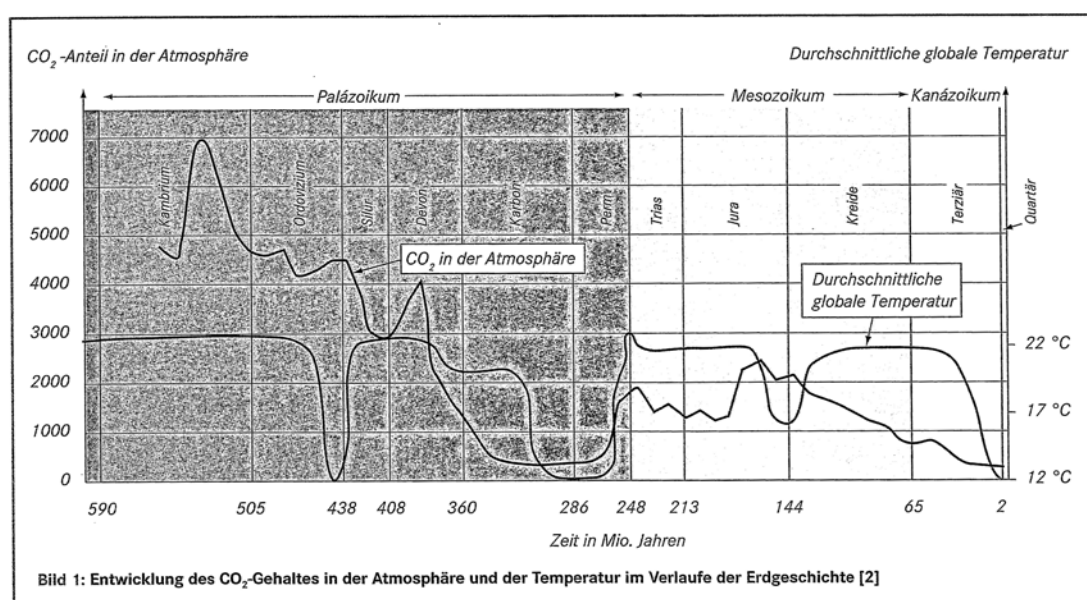


図1 地質史における大気中のCO<sub>2</sub>含有量と温度の変動

示される。しかし一方、大気中の温室効果ガスの濃度の上昇が大きいことが気がかりで、政治的な対策の発動が促される。化石エネルギー源の需要は2030年までは上昇することが予測され、通常の石油備蓄量はその限界に達するが、ガ

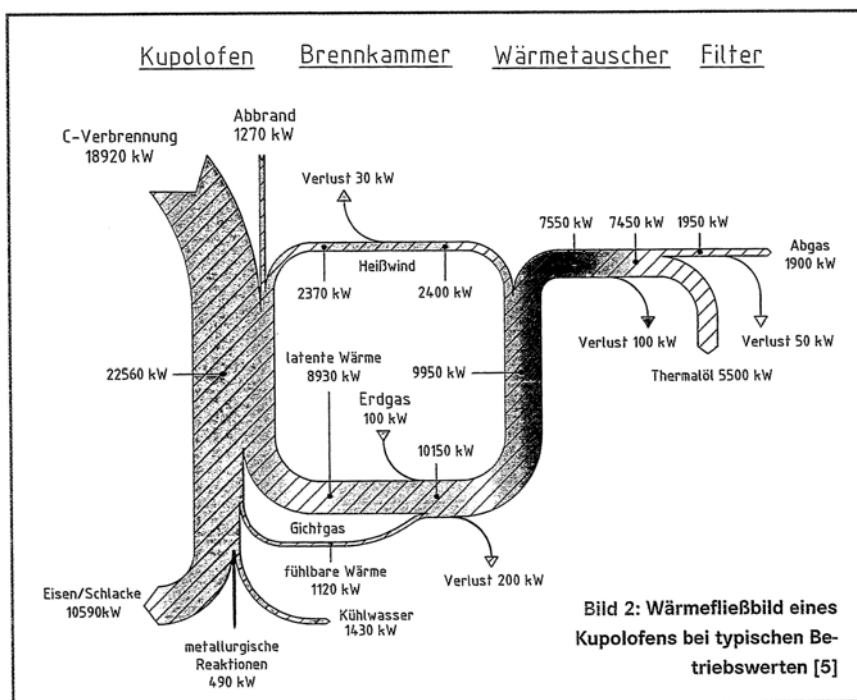
ス〈天然ガス〉と炭素〈石炭〉はなお上昇する需要をカバーしうる。化石エネルギー源をさらに消費し続ければ、地球上の生命に想像も出来ないほどの悪影響を及ぼすことになることは明らかである。米国では温室効果ガスは大気浄化法によって有害物質の範疇に組み入れられ、エネルギー供給及びエネルギー消費に当たってこれまでの対応では不十分となった。そして鑄造産業に対しても影響を及ぼすこととなった。

T.R.Vijayaram[3]は鑄物製品の様々な領域における有害物質の発生について報告している。キューポラでの溶解を観察し、排出された有害物質の削減や除去のための各種の装置を提案している。

ヨーロッパでの鑄鉄鑄造のさいのダイオキシン発生に関する研究の中で、溶解試験が多数回行われ、排ガスの分析が行われた。B.Duquet[4]は、その試験について記述し、結果を論じている。とりわけ清浄化された排ガス中のダイオキシン含有量に対する異なる操業条件の影響について調査が行われた。さらにキューポラでのダイオキシン形成のメカニズムについて述べている。様々なケースでクリーンガス中の高いダイオキシン排出量及び残留粉塵量が確認された。操業条件の最適化やフィルター装置の調整にもかかわらず、ダイオキシン排出量が限界値を超えるならば、ダイオキシンの後処理が必要となる。

炭酸ガス排出の抑制にはキューポラでの溶解の際のエネルギー効率の改善が重要な役割を果たす。キューポラの構造についても考慮する必要があるが、操業のさいに不可避免的に発生する廃熱の利用がより重要である。廃熱の利用についての研究[5]では、まず溶解操業に依存する使用可能な熱量の廃熱利用についての試算が行われた。(図2、下部表示) サーマルオイルを熱媒体として利用する際

に、サーマルオイル循環中で発生する廃熱が有効利用できる。さらに個別に対応される多くのオプション利用がある。さらに Heunisch GmbH 鑄造所、Bad Windsheim,における熱再生装置の改造について



での説明があり、そこでは塗装設備で発生する熱が塗料の乾燥に用いられた。

D. Leveque[6]はバグフィルター及びそれに続くフィルターバグのクリーニングならびに排ガス流の粉塵が付着した通路の除塵の原理について記述している。これに加えて様々な布フィルターの構造について述べている。フィルター入口前の排ガス温度の最大値として 250°Cをあげている。バグフィルターのクリーニングのさいに乾燥空気の投入が有利としている。例として、14t/h の冷風キュポラの除塵装置が紹介され、いくつかの装置及び操業データが報告されている。

Coffeyville, USA の Acme 鋳造は多数の中子を使う複雑な鋳物製品の製造業者である。[7] 老朽化した除塵装置の使用のさい、MACT 規格を適用した排出限界値の限界を守ることが検査測定により証明された。新しい除塵装置の構造が記述されている。キュポラの近代化対策が実施され、溶解コストの削減が達成された。

フランス、Bayard, sur Marne にある Saint-Gobain-Konzern の鋳造工場は、熱風キュポラを用い、片状黒鉛鋳鉄の遠心鋳造管を製造している。M. Alaphilippe, P. Cuenin, S. Jakob[8]は除塵装置について記述している。いわゆるドライクリーニング装置が重要で、そこでは炉頂ガスがまず燃焼され、次いで熱交換タワーで必要なフィルター入口温度まで冷却される。除塵はバグフィルターで行われる。ダイオキシンの分離のため、フィルター装置に入る前に活性化石灰がスプレーされる。

フランス、St.Crepien Ibouvillers の Norfond 鋳造所の建設のさい環境保護に対する対策が考慮された経過についての報告がある。[9] 環境保護のためのキュポラ炉の炉頂ガスの処理方法とクリーニング装置について詳しく述べている。環境保護のための努力はこの鋳造所の価値を高め、また表彰を受けることにもなった。

## 2. 計算モデル

S. Katz ら[10]は、キュポラ操業最適化モデルの開発の結果を紹介している。モデル化適用の結果は特別に準備された小さなキュポラでの溶解試験で確認を行った。表 1 は相当する操業データ値と計算値との対比を示す。このモデルはとりわけキュポラ溶解の際の添加材料 SiC の挙動を観察するための新しい方法を提供するものである。ここで使用されたキュポラによりさらなる試験が行われたが、それについては後日発表されることになる。

輻射型熱交換器は産業用炉装置においてプロセス内熱回収のために使用され、またキュポラ溶解でも用いられる。この装置の長所はその簡単な構造にある。汚染ガス流の流入時に加熱表面のクリーニングのための装置を必要としない。これに対し、K. Karczewski[11,12]が報告するように、空気面の熱伝導が問題と

なる。この熱伝導の改善のためのコンピュータモデルが開発された。報告書では使用された形式の装置におけるモデル計算について詳細な記述がなされている。

Tabelle 1: Vergleich von Betriebswerten mit den Ergebnissen der Modellrechnung [10]		
Parameter	Modellwerte	Praxiswerte
C in Gewichts-%	3,61	3,6
Si in Gewichts-%	2,33	2,3
Mn in Gewichts-%	0,37	0,42
S in Gewichts-%	0,072	0,075
Schmelzmenge in kg/h / t/h	322/0,35	318/0,35
Eisentemperatur in F / °C	2820/1549	2772/1522

表 1 モデル計算と操業値との比較[10]

### 3. 装入材料と冶金学

鑄造産業の観点から見た原材料マーケットの状況の評価に関し I. Lacoste[13, 14]による二つの報告がある。製鋼産業の世界的発展と原材料価格の高騰について統計による記述がなされている。さらに夫々の傾向がもたらされる背景について説明されている。

J. Parker[15]もまた原材料とエネルギー源のコストの上昇についての調査を紹介している。部分的には劇的といえるような上昇傾向が見られ、その原因を指摘している。さらなる経過については、極端な価格の上昇の繰り返しはあり得ないと予測している。

C. N. Bhadbhade[16]は、溶解帯でのコークス柱の高さの制御について述べている。これの確定のための経験的な公式があり、これは風箱風圧と関係するものである。炉内ガスの圧力損はもちろんベッドコークスの高さに依存しているが、またその他の影響因子もある。いずれにせよ上記の公式は不完全なものであり、現時点ではその使用は推奨されない。その他ベッドコークスの高すぎ、低すぎの影響についても説明している。

キューポラ炉内でのプロセスについてのさらなる認識を得るために、特に試験用に建設されたキューポラ ([10]参照)によって費用のかかる実験が行われた。R. E. Aristizabalら[17-19]による3部構成の発表はテストの経過と結果の評価を記述

している。キュポラは溶解の間窒素を注入し（送風の代わりに窒素を添加）、続いて装入開口部から水を注入して水冷凍結させた。 図3は温度—時間図

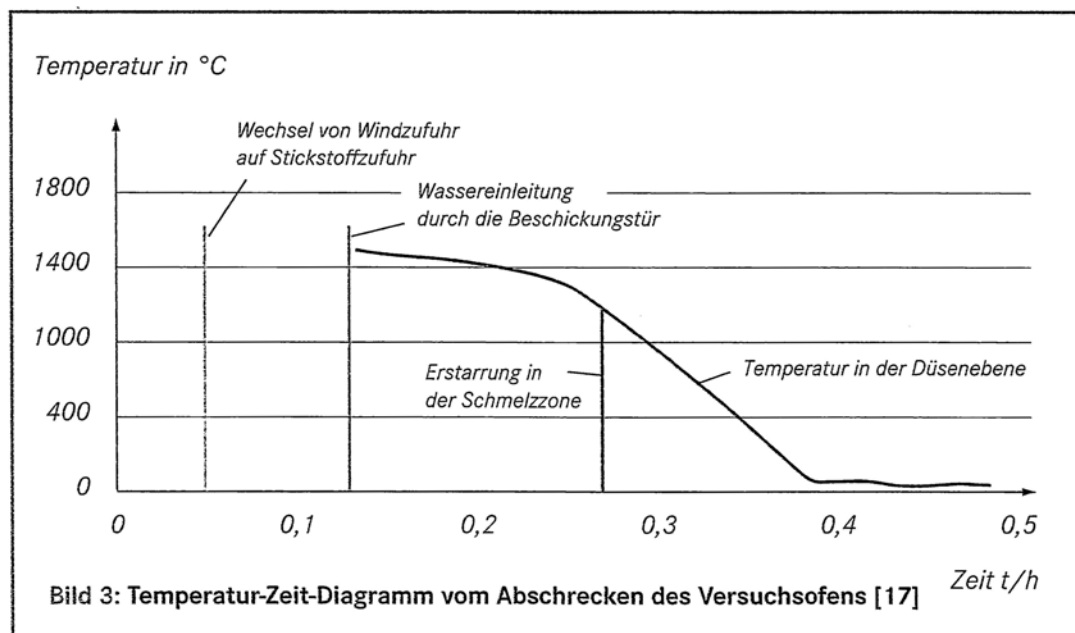


図3 テスト炉を急冷停止させたときの温度-時間図

表の形で急速水冷の経過を示したものである。続いて炉体を多くのセクションに分解し、その後必要とする調査を行った。このようにしてキュポラの各部における冶金学的反応の経過を調べた。炉の各部から採取した数多くの材料試験片の評価を行い、装入材料の炉中での降下のさいに生ずる挙動についての推論を導くことを目指した。

B. K. Basak[20]はコークレスキュポラの構造とその操業方法について述べている。過去に発表されたと同様の報告、またインドの雑誌に発表された報告を含めこれらすべての報告は、記述された溶解装置の特有の長所についてのいわば偏った表現であり、存在する問題点への言及がなされていない。文献内の情報を精査すると、コークレスキュポラは現在ではインドで利用されていることが知られる。Wesman Engineering社は（報告の著者に含まれている）耐火物ベッドに必要なセラミック体をインドで製造している。

#### 出典

- [1] Giesserei 96 (2009) Nr. 6, S. 18-25.
- [2] Transactions of the American Foundry Society 117(2009), S. 825-845, 09-092.
- [3] Foundry, India 21 (2009) Nr. 5, S. 29-36, 58.
- [4] Fonderie, Fondateur d'aujourd'hui (2009) Nr. 282, S. 26-31.
- [5] Giesserei 96 (2009) Nr. 10, S. 68-74.

- [6] Hommes et Fonderie (2009) Nr. 393, S. 47-49.
- [7] Modern Casting 98 (2008) Nr. 7, S. 42-43.
- [8] Hommes et Fonderie (2009) Nr. 393, S. 22-24.
- [9] Hommes et Fonderie (2009) Nr. 393, S. 31-34.
- [10] Modern Casting 99 (2009) Nr. 2, S. 34-35.
- [11] Metallurgy and Foundry Engineering, Krakau 33 (2007) Nr. 2, S. 129-139.
- [12] Metallurgy and Foundry Engineering, Krakau 34 (2008) Nr. 1, S. 39-51.
- [13] Fonderie, Fondateur d'aujourd'hui (2008) Nr. 279, S. 36-41.
- [14] Fonderie, Fondateur d'aujourd'hui (2009) Nr. 287, S. 37-41.
- [15] Foundry Trade Journal 182 (2009) Nr. 3661, S. 22-23.
- [16] Foundry, India 21 (2009) Nr. 3, S. 85-86.
- [17] Transactions of the American Foundry Society 117(2009), S. 681-691, 09-103.
- [18] Transactions of the American Foundry Society 117 (2009), S. 693-705, 09-104.
- [19] Transactions of the American Foundry Society 117 (2009), S. 709-725, 09-105.
- [20] Foundry, India 21 (2009) Nr. 1, S. 41-46.