

溶鉄上のアークプラズマの発光スペクトル及び温度分布に対する雰囲気温度の影響

Influence of Ambient Temperature on Emission Spectrum and Temperature Distribution of Arc Plasma above Molten Iron

東大院新領域 ○宗岡 均、郡司 崇秀、伊藤 剛仁、寺嶋 和夫

The Univ. of Tokyo ○Hitoshi Muneoka, Takahide Gunji, Tsuyohito Ito, and Kazuo Terashima

E-mail: muneoka@plasma.k.u-tokyo.ac.jp

【背景・目的】 鉄鋼業は世界の産業界の CO₂ 排出量の約 25%を占めており[1]、カーボンニュートラル (CN) に向けた取り組みが急務となっている。その中で、炭素還元製鉄 (高炉法) から水素還元製鉄への転換が模索され、水素還元鉄の溶解手法として、アークプラズマ加熱による溶解炉 (電炉) が注目されている。電炉法は、鉄スクラップの溶解によるリサイクル・廃棄物処理手法として既に確立された製鉄法であり、現在でも世界の鉄鋼生産量の約 3 割を担っているが、CN の実現に向けては、従来の電炉法の限界を超えた品質水準の達成と大幅な生産量の拡大が求められている。その鍵を握るのが、電炉アークと溶鉄の相互作用の解明と制御であり、アークプラズマの「熱」だけでなく「反応」も活用するようなプロセス構築が望まれている。例えば、アーク中の窒素活性種と溶鉄の反応性の制御が重要な課題の一つとして挙げられている[2]。本研究では、既往研究の多いアーク溶接とは異なり、電炉内の雰囲気温度が高温であることに着目し、発光スペクトルとアーク温度分布の雰囲気温度による差異を評価した。

【実験】 図 1 に示すように、抵抗加熱炉 (横型管状炉) 内にアーク実験設備を構築し、黒鉛坩堝で電解鉄に黒鉛粉末 (2.4 g) を添加して、Ar 雰囲気で約 60 g 溶解した。その後、Ar/N₂ 混合気体を炉内に導入し、炉内の雰囲気温度を 1700 K に維持しながら、直流アーク (電流 12 A、電圧約 10-20 V) を生成した。バンドル光ファイバーを用いて炉の側面から発光スペクトルを同時測定し、各発光種の発光強度分布を求めた (測定領域: 直径約 150 μm×27 箇所)。さらに、分光測定と同時に取得した写真を解析し、陽極 (溶鉄) とアークの接触部の中心を原点、アーク伸長方向を Z 軸とした直交座標系に変換し、アーク長が 1 となるように規格化した。これにより、アークが高速で動き回りアーク長が時々刻々と変わる状態でも、複数回の発光スペクトルを重ねて比較できるようになった。この手法を用いて、100 回以上測定を行うことで、各発光種の発光強度とアーク温度分布を評価した。同じ装置を用いて、室温 (300K) でも同様に固体鉄上のアークプラズマ実験を実施し、比較を行った。

【結果・考察】 窒素を含む発光種として、CN (Violet system)、NO (γ system)、N 原子の発光強度の空間分布を評価した。最も不安定な N 原子の発光は陰極 (上部黒鉛電極) 付近に局在しており、雰囲気温度が高温 (1700 K) の方が室温よりも発光領域が広がっていた。一方、最も安定な NO ラジカルの発光分布は逆に室温付近で広がりが大きかった。また、Fe I の 2 線強度比法[3]を用いて評価したアーク温度分布は、今回の実験条件では室温と高温で大きく異なり、室温では陽極付近が拡張モードであり、TIG 溶接等と類似した温度分布形状であった。一方、高温雰囲気では収縮モードであり、陽極側の冷却が強いことが示唆された。このようにアーク温度は 10000 K を超え、雰囲気温度よりも遥かに高温の条件であるにもかかわらず、雰囲気温度によってアークの挙動が大きく異なることがわかった。この結果は、高温雰囲気における電炉アークと溶鉄の相互作用の研究のためには、従来の溶接研究が対象としなかったような高温実験の必要性を示唆していると考えられる。

【謝辞】 本研究は JSPS 科研費 21K20479、JFE21 世紀財団・鉄鋼技術研究助成による助成を受けたものです。

【引用文献】 [1] International Energy Agency (IEA), “Iron and Steel Technology Roadmap. Towards More Sustainable Steelmaking” (IEA, 2020). [2] F. Zhang, J. Li, W. Liu, and A. Jiao., Materials 16 (2023) 33. [3] M. Shigeta et al: Welding International, 31 (2017) 669.

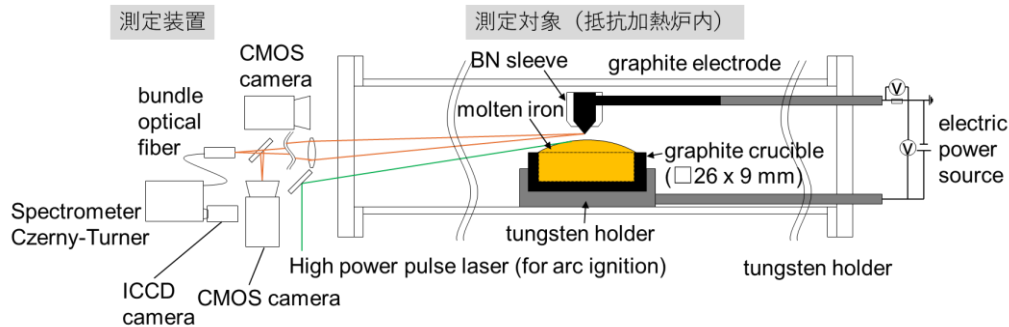


図 1 抵抗加熱炉内における溶融鉄上のアーク実験系の模式図