

磁気駆動型プラズマ装置の開発

広域加熱をめざして

Development of a Magnetically Driven Arc Plasma Generator For Wider Area Heating

(電気利用技術研究所 電気加熱G)

近年、アークプラズマ加熱はその特徴を活かして様々な利用技術の研究が進められているが、実用化された技術は少なく、利用技術を確認する上で、発生装置、計測技術などハード、ソフト両面での課題は多い。今回、加熱域が狭いというハード面の課題に対して、広域加熱が可能なプラズマ発生装置を新日本製鐵(株)との共同研究で開発し、従来法の10倍以上の面積が加熱可能なことを確認した。

(Electrotechnology Applications Research & Development Center, Electroheat Group)

Although various research efforts have been expended for application techniques utilizing features of arc plasma, few technologies were established for practical applications. There are a lot of obstacles in both hardware and software to overcome before application technologies can be established, including the plasma generators and diagnostics. A plasma generator capable of heating a wider area was developed this time in cooperation with Nippon Steel Corporation, combating the hardware problem of narrow heating, and confirmed that an area more than ten times wider than that for conventional generators can be heated.

1 アークプラズマの特徴と利用用途

アークプラズマ加熱は他の熱源では不可能な1万度以上の高温が容易に得られることなどから、溶接、切断などの加工分野や製鉄の溶湯保持などの高温プロセスに実用化されている。さらに、従来技術では不可能な高付加価値製品の開発(微粒子製造、薄膜合成など)、廃棄物処理など様々な分野での研究開発が国内外で進められている(第1表)。

2 研究の背景

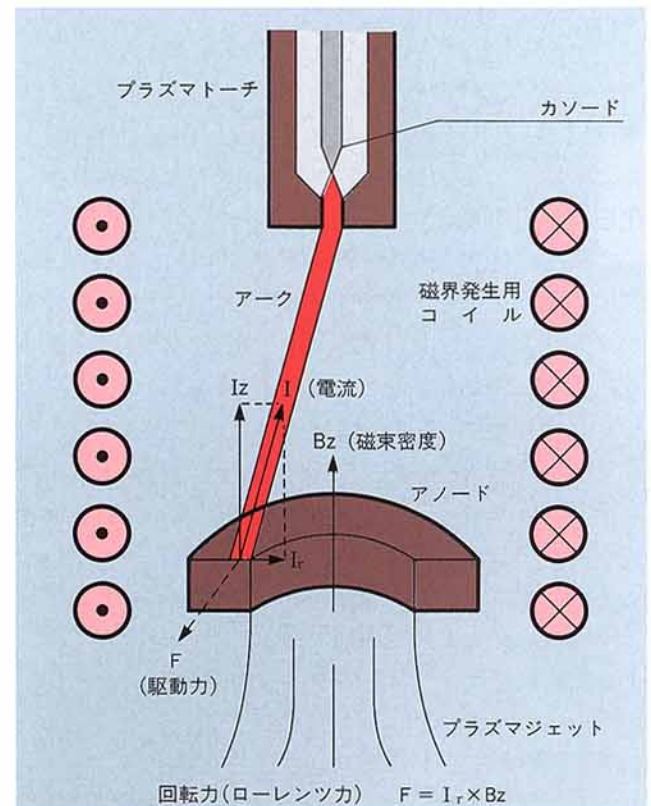
現在工業的には安定性、制御性に優れる直流アークプラズマが主に用いられているが、加熱域が狭く、薄膜合成など利用用途によっては加熱の均一性に課題を生じている。また、実際に必要な処理温度は数千度以下であることから、加熱域が広いソフトなプラズマを発生できる装置の開発が求められている。

3 磁気駆動型プラズマの原理

カソード(陰極)を内部に有するプラズマトーチ(プラズマ発生部)の下方に、磁界発生用コイルとリング状のアノード(陽極)を設置し、カソード・アノード間の偏向させた直流アークに磁界を加え、ローレンツ力によりアークを高速回転させて、プラズマジェット(プラズマ加熱域)を拡大する。その原理を第1図に、開発した実験装置の概要を第2図に、仕様を第2表に示す。

特徴	利用用途の例
高温 5,000~30,000°C (燃焼炎の約10倍)	・切断・溶接 ・製鉄溶湯再加熱・温度保持
高エネルギー密度 ~100kW/cm ² (燃焼炎の約10倍)	
雰囲気制御性 酸化、還元、不活性 任意に選択可能	・溶射(タービンブレードの耐熱・耐摩耗性向上など) ・微粒子製造(SiCなど) ・薄膜合成(ダイヤモンドなど) ・固体廃棄物溶融無害化・減容化 (焼却灰、低レベル放射性廃棄物など) ・有害物質無害化(PCB、フロンなど) ・廃棄物からの資源回収(有価金属回収など) ・鉄鉱石の直接製鉄・還元 ・特殊鋼(チタンなど)溶解・精錬 ・石炭のアセチレンガス化
操作制御性 起動・停止 出力制御容易	
高温化学反応性 活性種(ラジカル)存在	

第1表 アークプラズマの特徴と利用用途



第1図 磁気駆動型プラズマのアーク回転原理

4 研究の概要

(1) 安定運転条件の把握

アーク電流、磁束密度、作動ガス流量、雰囲気圧力、アーク長、リングアノード内径など多くの運転パラメーターに対して、円錐状のプラズマが安定に維持できる条件を把握した。

(2) 装置性能試験（プラズマ基礎特性の把握）

本装置の性能を評価するため、アーク回転速度、プラズマ温度、プラズマジェット下流に置いた基板の温度分布など基礎特性を把握した。

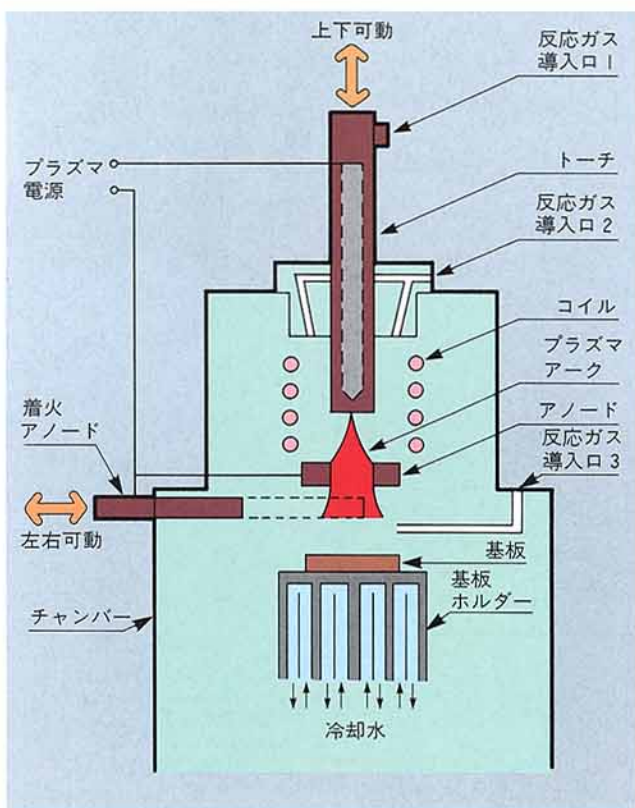
(3) 適用性評価試験

本装置を用いてダイヤモンド薄膜合成を試み、適用性評価を行った。

5 試験結果

(1) 装置性能試験結果

アークは特定の回転周波数を持たず、kHzオーダーの広範囲の不特定の周波数で回転することが分かった。また、同一条件の直流アークプラズマと比較して、トーチノズル（プラズマトーチ下端部）直下のプラズマ温度は約2,000℃低い8,500℃であり、均一加熱できる面積は約10倍（基板上で直径約100mm）であることを確認した（第3図参照）。



第2図 実験装置の概要図

(2) 適用性評価試験

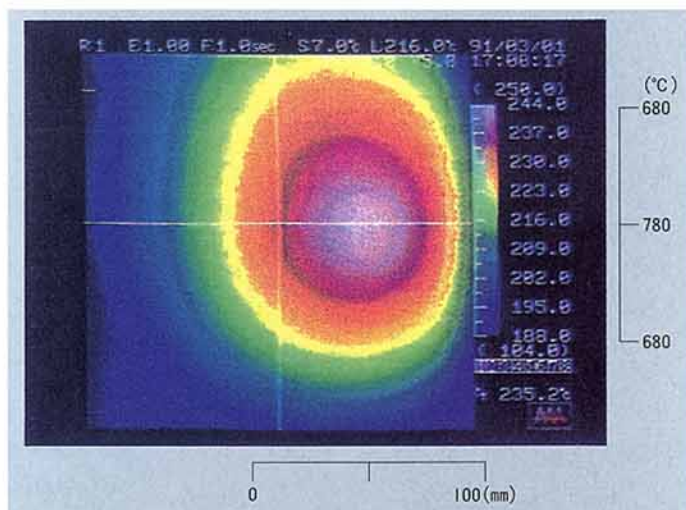
アルゴンプラズマジェット中にアノード下方位置からCH₄/H₂=3 vol.%の混合ガスを反応ガスとして添加することで、シリコン基板上にダイヤモンドの生成を確認した。この膜は結晶性の良いダイヤモンド（直径約2μmの結晶粒）と非晶質の硬質炭素（ダイヤモンドライクカーボン）が混在した結晶粒の集合体であった。成膜中の様子を第4図に、得られたダイヤモンド薄膜の電子顕微鏡写真を第5図に示す。

6 今後の展開

今回の装置開発は加熱域の拡大を目指したものであり、本方式の有効性を確認した。今後は、自社で研究を進めている固体廃棄物の熔融処理など広域加熱を必要とするプロセスにこの発生技術の応用を図る予定である。

第2表 実験装置の仕様

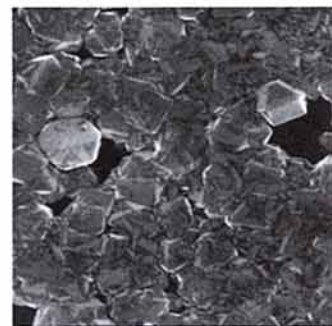
項目	仕様
トーチモード	直流移行型
最大出力	50kW (400A/130V)
最大磁束密度	400Gauss
最大アーク長	100mm
アノード内径	50~70mm



第3図 基板の温度分布



第4図 成膜中の様子



第5図 ダイヤモンド薄膜の電子顕微鏡写真(5,000倍)