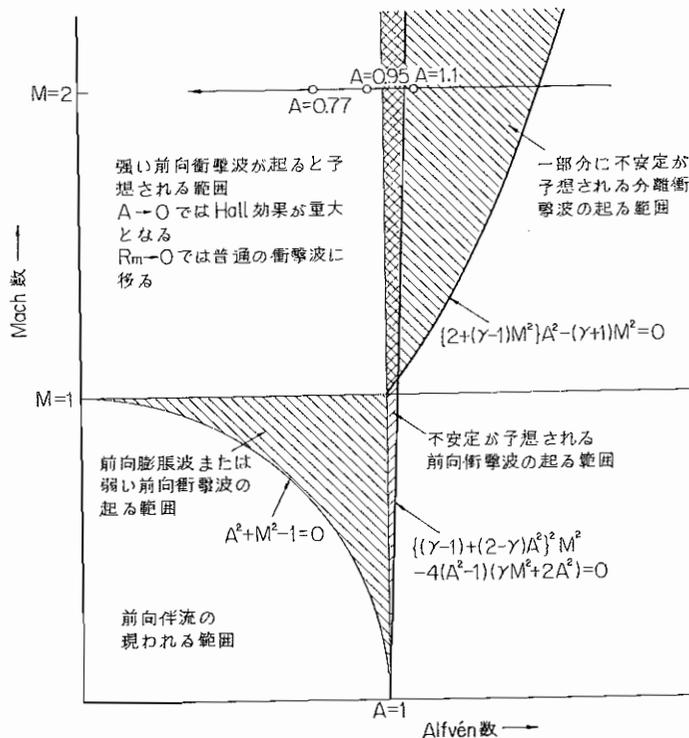


5. MHD 流れの実験

森岡茂樹*

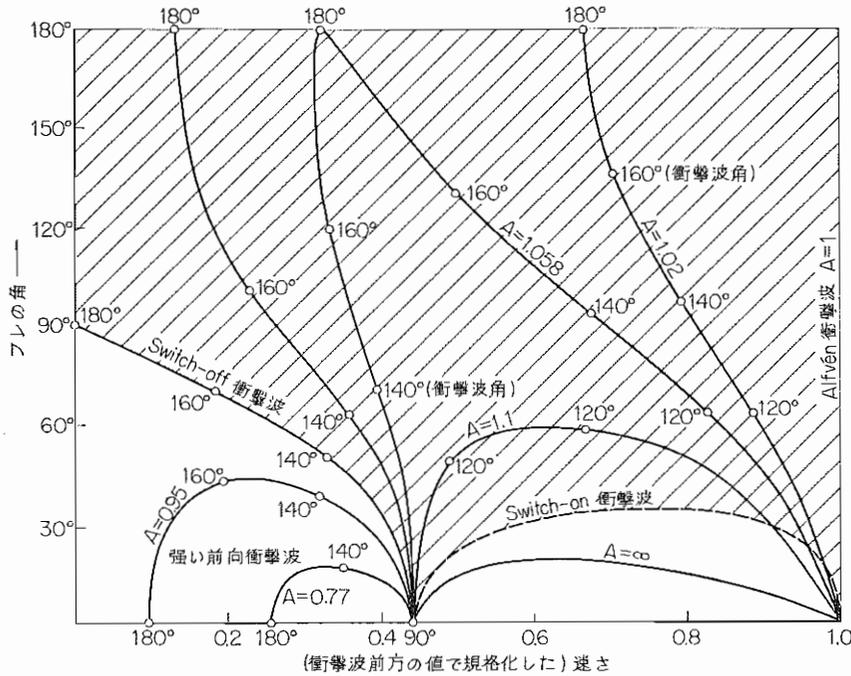
我々のグループには今日まで流体力学を専攻してきた者が多いので、プラズマの実験も電離気体の流れまたは MHD の流れから手掛けるのが適当であろうと考えた。実際に実験を始めたのは約 1 年前のことであって、まだ実験装置や測定器類も十分にそろっておらず、測定データの量も少ないが、現在何を計画しどの程度の実験を始めているか報告してみたいと思う。

電離気体の流れで問題になることは、普通の気体に対する Boltzmann 方程式を電離気体の流れに一般化するとき新しく現われる諸項からも推察できるように、電離・再結合過程、ふく射過程、電磁場との相互作用、混合流体間の緩和過程にあると考えられる。これらの問題は実際上多かれ少なかれ同時に取扱われねばならないのであるが、我々は特に電磁場との相互作用の問題に興味をもっている。その理由は前向伴流、渦跡、前向膨張波、前向衝撃波、



第 1 図 A-M 図上の新しい流れの現象が予想される範囲

* 大阪大学基礎工学部



第 2 図 MHD Shock Polar ($M=2$ の場合)

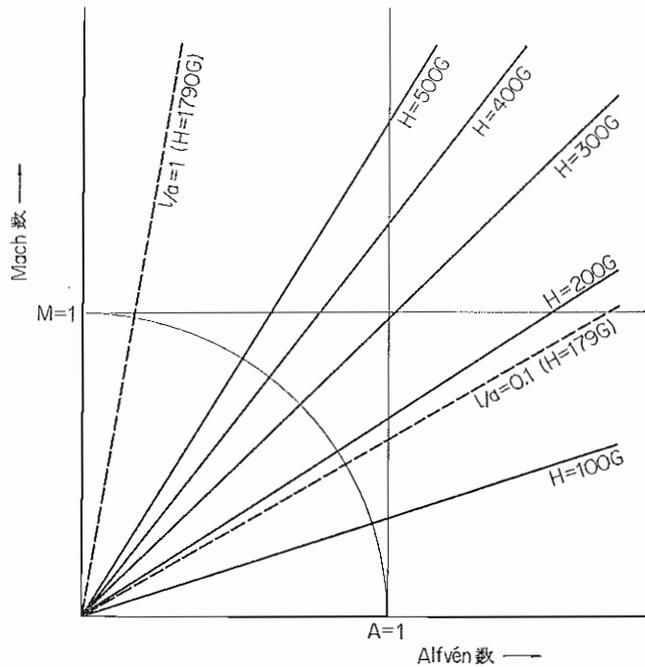
一部分に不安定が予想される分離衝撃波等従来の気体力学では見られなかった新しい流れの現象が予測されているからである [1]~[4].

流れと磁場の相互作用の問題は磁場の形状、電導性流れの性質、流れを取り巻く境界の形および性質の組合せについて区別されねばならないが、解析的および実験的に比較的簡単でしかも多くの新しい現象が予測できる場合として Aligned Field を含む電離気体の流れが考えられる。この場合に起こる新しい現象は A-M 図の上で都合よく分類することができる。

(1 図参照) Mach 数を M 、Alfvén 数を A 、磁気 Reynolds 数を R_m で表わすと、前向伴流は $M < 1$, $A \ll 1$, ($R_m \ll 1$) で、前向膨張波または弱い前向衝撃波は $M < 1$, $A < 1$, $A^2 + M^2 > 1$, ($R_m \gg 1$) で、強い前向衝撃波は $M > 1$, $A < 1$, ($R_m \gg 1$) で生じるであろう。

$\sqrt{(\gamma+1)M^2 / \{2 + (\gamma-1)M^2\}} > A > 1$, $M > 1$, ($R_m \gg 1$) の範囲では分離衝撃波の一部に前向の部分が起こるがそれは (局所的に考えた) 一次元的なかく乱に不安定であることが予測される。空間的な配置をもつ衝撃波でかような不安定が本当に起こるか、もしそうだとすれば結果としてどのような流れが実現されるか、という問題は興味がある。2 図は $M=2$ の場合の Shock Polar を示す。斜線の部分は不安定が予想される部分である。

これらの現象を観測するためには一様で電導性の良い流れが必要になるが、実際にそのような流れを作ることは非常にむずかしい。できるだけ電導性の良い (電子温度の高い) 一様なプラズマ流を作り出す装置を作成し改良していくことと、一方では有限な電導性の効果や電離・再結合過程、ふく射損失過程を取り入れた流れの解析を進めることが差当たりの問題



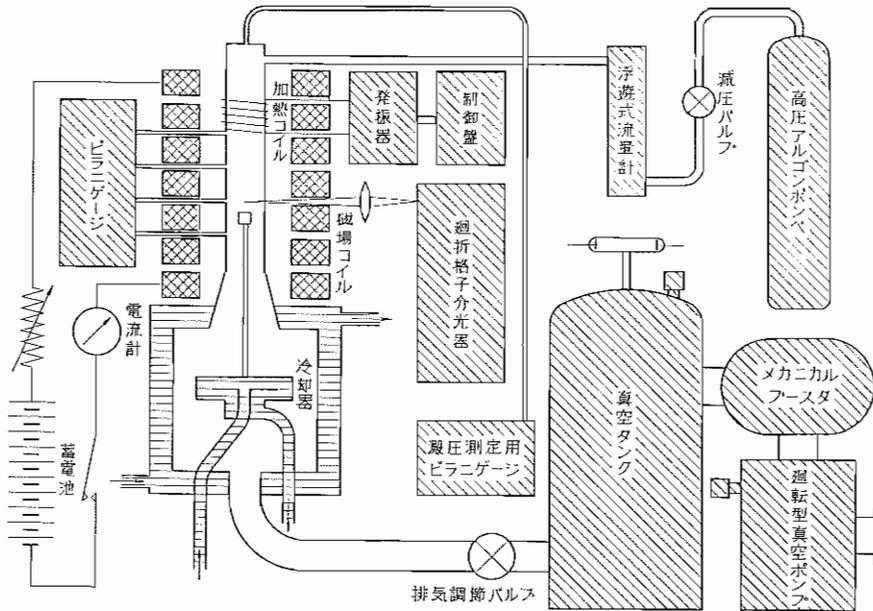
第3図 A-M 図上における Hall-パラメータおよび磁場の強さが一定な線 ($P=5 \text{ mmHg}$, $T=1 \times 10^4 \text{ K}$ のアルゴン)

と考えている[5].

電離気体の実験では熱障害を受ける管壁や磁場コイルの制限から低密度で取扱う場合が多い。その場合 M/A の大きい範囲では Hall 効果が問題になる。3図は圧力 5 mmHg 、温度 10^4 K のアルゴンについて $a/l = \text{const.}$ (a は電子の Larmor 半径, l は電子の平均自由行路[6]) および $H = \text{const.}$ の線を A-M 図の上に表わしたものであるが、この例からも推察できるように實際上 Hall 効果は無規できない問題である。

さて、我々の実験はプラズマジェット発生装置に適当なノズルを接続したとき得られる電離気体の定常な流れを利用するように決められている。現在完成しているのは 4 Mc , 15 kW の発振器による高周波加熱プラズマ発生装置に内径 60 mm のパイレックス一次元ノズルを接続し更にその端を排気装置に接続したものであって、その概略図は4図に示されている。ノズル中の流れは減圧バルブと流量計、排気調節バルブと圧力計、発振電圧・電流調節ダイヤルと電圧・電流計の組合せで任意に制御できる。ノズルと中心対称に取りつけられた磁場コイルは最高 250 Amp. の電流で $1,000 \text{ G}$ の流れに平行な磁場を与えることができる。作動ガスとしては現在水素を 10% 混入したアルゴンまたは純アルゴンのいずれかを使用している。

ノズルの管壁にそって取りつけたピラニゲージで管壁上の圧力分布が測定できる。また数箇所のノズル断面で撮られた分光写真から水素の β 線の強度プロファイルまたはアルゴンの線



第4図 実験装置の概略図

スペクトルの相対強度を利用して電子密度または電子温度が見出される。これらの測定データは流量計および激点圧力計の測定値とともに電離気体力学の準一次元流れの理論を用いて流れの平均量や出入するエネルギーの量を決定する。今までに行なった実験では加熱コイルから7cm下流で圧力2.7mmHg. 平均流速0.25km/sec. 平均気体温度 2×10^3 °K, 電子温度 8×10^3 °Kの結果が得られている。これらは $M^2=7 \times 10^{-2}$, $A^2=5.5 \times 10^{-3}$ (磁場の強さ1,000Gのとき), $R_m=2 \times 10^{-2}$ の値を与える。これらのパラメータの値は前向き伴流の起こる条件を満足していると見ることができる。

実験の結果はまた磁場の有無にかかわらず流れの諸量が管軸方向および半径方向のいずれにもかなり大きく変化していることを示す。磁場をかけた場合ノズル中の物体前方の流れはその発光を増すが、その場合の側圧の測定および分光測定の結果は(加熱部を含む)上流部分の温度が上昇したことを示す。しかしながらそれが前向き伴流とどんな関係をもっているのか明らかでない。与えられたノズルについて物体の大きさおよび R_m/A^2 の値をいろいろ変えたときノズル壁上の圧力分布や半径方向の電子密度分布がどのように変わるかを計算しているかたわら、測定された線スペクトルの断面方向の強度分布からAbel積分の反転表式を用いて半径方向の強度分布に改め、それから電子温度の分布を求めている[7]のが現状である。

5月の上旬には予定より5箇月ほど遅れて200kWのDCアーク加熱プラズマ発生装置が輸入されてくるが、この装置では音速を越えた電離気体の流れおよびMHDの流れの実験が予定されている。

参 考 文 献

- [1] K. Tamada; Phys. Fluids **5** (1962) 817, 871
- [2] S. Morioka; J. Phys. Soc. Japan **16** (1961) 2346
- [3] J.E. Anderson; Magnetohydrodynamic Shock Wave (M. I. T. Press, 1963)
- [4] A. Jeffrey and T. Taniuti; Non-linear Wave Propagation (Academic Press, 1964)
- [5] L. Todd; J. Fluid Mech. **18** (1964) 321
- [6] L.S. Spitzer; Physics of Fully Ionized Gases (Interscience Pub., 1962)
- [7] H.N. Olsen; Phys. Fluids **2** (1959) 614