

研究成果報告書

(国立情報学研究所の民間助成研究成果概要データベース・登録原稿)

研究テーマ (和文) AB		ヘリコンプラズマを用いた無電極電気推進機の推力発生機構の解明			
研究テーマ (欧文) AZ		Thrust generation mechanism in an electrodeless electric propulsion using a helicon mode discharge			
研究氏 代表名 者	カタカナ CC	姓)タカハシ	名)カズノリ	研究期間 B	2012 ~ 2014 年
	漢字 CB	高橋	和貴	報告年度 YR	2014 年
	ローマ字 CZ	TAKAHASHI	KAZUNORI	研究機関名	東北大学
研究代表者 CD 所属機関・職名		東北大学 工学研究科・准教授			
概要 EA (600字~800字程度にまとめてください。)					
<p>本研究では、磁気ノズル配位を適用したヘリコンプラズマ源の無電極電気推進機へと応用することを念頭に置いて、無電極ヘリコンプラズマスラスタの推力直接計測、およびその発生機構の解明を目的として研究を行った。真空容器内に振子型のスラストバランスを設置し、磁気ノズル形成用のソレノイドコイルまたは永久磁石、プラズマ源となるガラス管、上流域のプラズマ終端板を独立に設置し、各コンポーネントに起因する推力を独立に計測可能な実験系を構築した。その結果、プラズマ終端板には生成部の電子圧力に相当する力が働き、これは終端板でのシース電場を介して電子圧力がイオン運動量へと変換され力が伝達していることを示した。また、下流域の磁気ノズル中では、電子反磁性ドリフトが主成分であると考えられる周方向電流と外部印加磁場の径方向成分によるローレンツ力が発生し、プラズマの軸方向運動量が増加し推力が発生していることを明らかにした。また、磁気ノズル中の磁力線を横切る拡散現象を抑制することでノズル内部の電子圧力が増加し、結果として周方向電流が増加することを示し、同時に磁気ノズルによって発生する推力成分が増加することを、推力成分の独立計測により明らかにした。一連の基礎実験ではソレノイドコイルを用いて外部磁場を形成していたが、電気推進機の性能向上、すなわち総消費電力の低減や重量の低減を目的として、永久磁石を用いた磁気ノズル形成を実現し、高周波電力2kWにおいて最大推力15mNを得ることに成功した。さらに上述のプラズマ拡散で損失する運動量を固体ノズルを併用して再利用することで、更に性能が向上することを示した。今後は周方向電流の詳細計測と発生機構についても調べる予定である。</p>					
キーワード FA	ヘリコンプラズマ	電気推進	磁気ノズル	推力計測	

(以下は記入しないでください。)

助成財団コード TA					研究課題番号 AA									
研究機関番号 AC					シート番号									

発表文献（この研究を発表した雑誌・図書について記入してください。）									
雑誌	論文標題 ^{GB}	Direct thrust measurement of a permanent-magnets helicon plasma thruster for space propulsion							
	著者名 ^{GA}	Kazunori Takahashi	雑誌名 ^{GC}	Transactions on Fusion Science and Technology					
	ページ ^{GF}	123~126	発行年 ^{GE}	2	0	1	3	巻号 ^{GD}	63
雑誌	論文標題 ^{GB}	Development of a compact magnetically expanding plasma source with a strong magnetic field							
	著者名 ^{GA}	Kazunori Takahashi, et al.	雑誌名 ^{GC}	Plasma Sources Science and Technology					
	ページ ^{GF}	055002-1~055002-5	発行年 ^{GE}	2	0	1	3	巻号 ^{GD}	22
雑誌	論文標題 ^{GB}	Approaching the theoretical limit of diamagnetic-induced momentum in a rapidly diverging magnetic nozzle							
	著者名 ^{GA}	Kazunori Takahashi, et al.	雑誌名 ^{GC}	Physical Review Letters					
	ページ ^{GF}	195003-1~195003-5	発行年 ^{GE}	2	0	1	3	巻号 ^{GD}	110
雑誌	論文標題 ^{GB}	Performance improvement of a permanent magnet helicon plasma thruster							
	著者名 ^{GA}	Kazunori Takahashi, et al.	雑誌名 ^{GC}	Journal of Physics D: Applied Physics					
	ページ ^{GF}	352001-1~352001-5	発行年 ^{GE}	2	0	1	3	巻号 ^{GD}	46
雑誌	論文標題 ^{GB}	Large diameter permanent-magnets-expanded plasma source for spontaneous generation of low-energy ion beam							
	著者名 ^{GA}	Kazunori Takahashi, et al.	雑誌名 ^{GC}	Review of Scientific Instruments					
	ページ ^{GF}	02C101-1~02C101-3	発行年 ^{GE}	2	0	1	4	巻号 ^{GD}	85
雑誌	論文標題 ^{GB}	Experimental identification of thrust components imparted by an electrodeless helicon plasma thruster							
	著者名 ^{GA}	Kazunori Takahashi, et al.	雑誌名 ^{GC}	Transactions on JSASS Aerospace Technology, Japan					
	ページ ^{GF}	Pb_1~Pb_6	発行年 ^{GE}	2	0	1	4	巻号 ^{GD}	12
雑誌	論文標題 ^{GB}	Performance characterization of a helicon plasma thruster with annular magnet							
	著者名 ^{GA}	Kazuaki Miyamoto, et al.	雑誌名 ^{GC}	Transactions on JSASS Aerospace Technology, Japan					
	ページ ^{GF}	Tb_5~Tb_9	発行年 ^{GE}	2	0	1	4	巻号 ^{GD}	12
雑誌	論文標題 ^{GB}	Effect of magnetic and physical nozzles on plasma thruster performance							
	著者名 ^{GA}	Kazunori Takahashi, et al.	雑誌名 ^{GC}	Plasma Sources Science and Technology					
	ページ ^{GF}	044004-1~044004-9	発行年 ^{GE}	2	0	1	4	巻号 ^{GD}	23

欧文概要^{EZ}

Thrust imparted from an electrodeless helicon plasma thruster is experimentally and analytically investigated by using a pendulum thrust balance. The balance is immersed in a vacuum tank, where either a solenoid creating a magnetic nozzle or a radial source wall or a source back plate is solely attached to the balance; then the force components arising from these components can be individually identified experimentally. Furthermore the total force corresponding to the total thrust can be measured by attaching all the components to the balance. The result clearly shows that the force exerted to the back plate corresponds to the electron pressure inside the source cavity, where the ion momentum converted from the electron pressure via a sheath voltage at the back plate exerts the force actually.

It is shown that the loss of the axial momentum onto the radial source wall is negligible. The individual measurement of the force onto the magnetic nozzle is also found to be a main component of the thrust. It is demonstrated that this components can be significantly increased by inhibiting cross-field plasma diffusion in the magnetic nozzle. The analytical model shows that the force onto the magnetic nozzle can be expressed by a Lorentz force due to the radial component of the magnetic field and the azimuthal electron diamagnetic drift current. The discrepancy between the analytical and experimental thrusts might be due to the simplified model of the azimuthal plasma current. Hence the integration of the ion dynamic motion in the magnetic nozzle has to be incorporated in near future.

Based on the above mentioned physical mechanisms, the thruster is designed to improve the performance. One of the approaches is the design of the magnetic nozzle using permanent magnets, where a maximum thrust of about 15 mN is obtained for the rf power of 2 kW. Another approach is a physical nozzle attached at the thruster exit to capture the momentum of the plasma lost from the magnetic nozzle; the thruster performance is further improved.