

# 宇宙科学研究所報告

特集 第46号

ATREXエンジンの研究開発

2003年3月

宇宙科学研究所

この報告書は宇宙科学研究所が、研究成果を公表するために発行する  
不定期継続刊行物です。

本報告についてのお問い合わせは下記にご連絡下さい。

宇宙科学研究所 管理部庶務課法規・出版係

# 目 次

序 文 .....	松尾 弘毅
二段式スペースプレーン概念図/ATREXエンジン概念図	
ATREXエンジンの地上燃焼試験写真/炭素・炭素複合材ノズルの試作写真	
超音速インテークの風洞試験写真ISAS/NASA GRC/ONERA	
1. 序論	
序論 .....	棚次 亘弘 ..... 1
2. ATREX エンジンのシステム	
ATREXエンジンシステムについて .....	佐藤 哲也・小林 弘明・棚次 亘弘 ..... 9
ATREXエンジンの飛行性能について .....	小林 弘明・佐藤 哲也・棚次 亘弘 ..... 21
ATREXエンジンの飛行性能の解析モデル .....	小林 弘明・佐藤 哲也・棚次 亘弘 ..... 31
極超音速空気吸込み式エンジンの統合最適化 .....	小林 弘明・佐藤 哲也・棚次 亘弘 ..... 49
3. コアエンジンシステムの実証研究	
ATREXエンジンの燃焼試験による地上システム実証 .....	佐藤 哲也・棚次 亘弘・小林 弘明 成尾 芳博 ..... 63
空気予冷却システム（プリクーラ）の開発研究（第1報：ATREXエンジン用プリクーラの実証） .....	佐藤 哲也・棚次 亘弘・原田 賢哉 小林 弘明 ..... 81
空気予冷却システム（プリクーラ）の開発研究（第2報：プリクーラの着霜に関する研究） .....	佐藤 哲也・棚次 亘弘・原田 賢哉 小林 弘明 ..... 95
ATREXエンジン地上燃焼試験設備の概要 .....	飯嶋 一征・岡部 選司 ..... 121
4. エンジン空力要素（インテーク、ノズル）の研究	
軸対称インテークの風洞試験による性能評価 .....	小島 孝之・小林 弘明・佐藤 哲也 ..... 133
インテーク/エンジンの制御に関する研究 .....	小島 孝之・澤井秀次郎・佐藤 哲也 ..... 145
軸対称インテークのCFDによる性能評価 .....	小島 孝之・小林 弘明・佐藤 哲也 ..... 173
プラグノズルの風洞試験による性能評価 .....	小林 弘明・佐藤 哲也・棚次 亘弘 ..... 183
プラグノズルのポートテールドラッグ低減に関する一考察 .....	藤井 孝藏・佐藤 哲也 ..... 191

5. エンジン材料の研究	
ATREXエンジンへのC/C複合材料の適用	八田 博志 ..... 205
6. エンジンの飛行実証	
ATREXエンジンの飛行実証	澤井秀次郎・小林 弘明・佐藤 哲也 本郷 素行・小松 信義・東 伸幸 ..... 227
ATREXエンジン開発研究実験班	..... 241
謝辞	..... 242
ATREX研究開発関連の特許	..... 243
ATREX研究開発関連の論文	..... 244

## 序 文

我が国の、いや世界の宇宙開発の最大の課題の一つが、輸送系の将来であることに異論はなからう。また将来の輸送系にとってのキーワードが再使用であり、その含意は輸送コストの劇的な軽減と信頼性の向上であることにも異論はなからう。

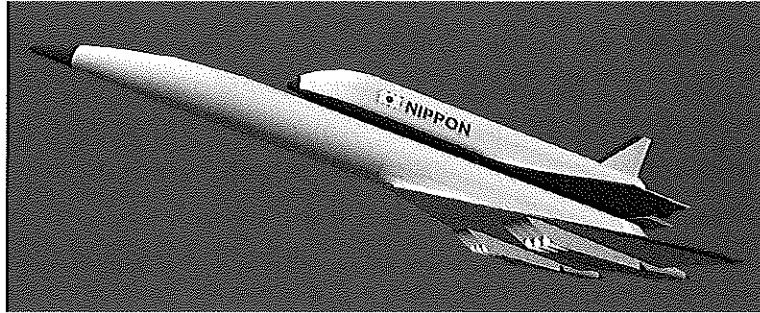
しかし、この先議論は渋滞する。一つは、このようなインフラを必要とする上部構造（需要）に今一つ説得力が無いことである。ある種の無条件インフラ先行論が受け容れられるかどうかは鍵であろう。もう一つは、実現すべきシステムに統一的なイメージがないことである。その大きな理由の一つに必要先進技術（特に推進系）に関する蓄積が決定的に不足していることがある。

この報告書は、将来輸送系の有力な構成要素となり得る空気吸込式エンジンについて、具体的に積み上げられた完成度の高い事実を示すものである。理工の連携による科学衛星ミッションの遂行とは別に、営々と成果を挙げてきたこの研究は格別の評価に値する。

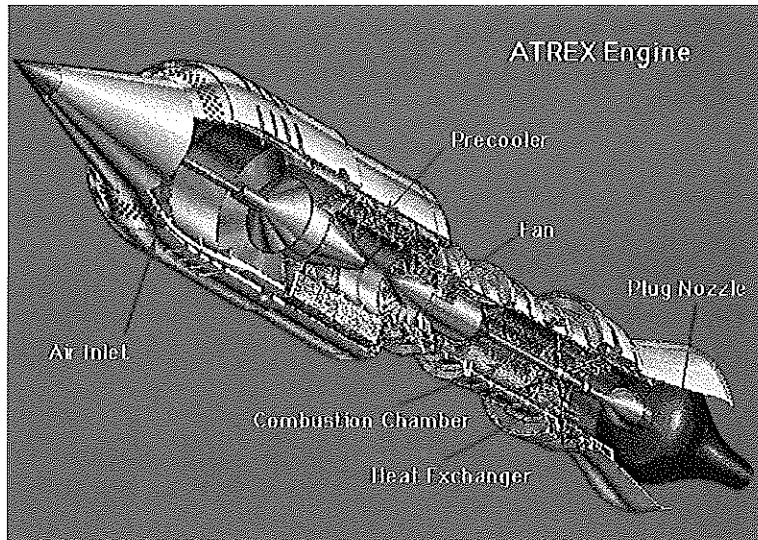
昨今のように、俄に産学連携と声高に叫ばれても困る。我々はとっくに着実な形で実施していたのである。

新機関という新たな土壌を得て、本研究が牽引車となって将来輸送系に新たな展開が得られることを期待する。

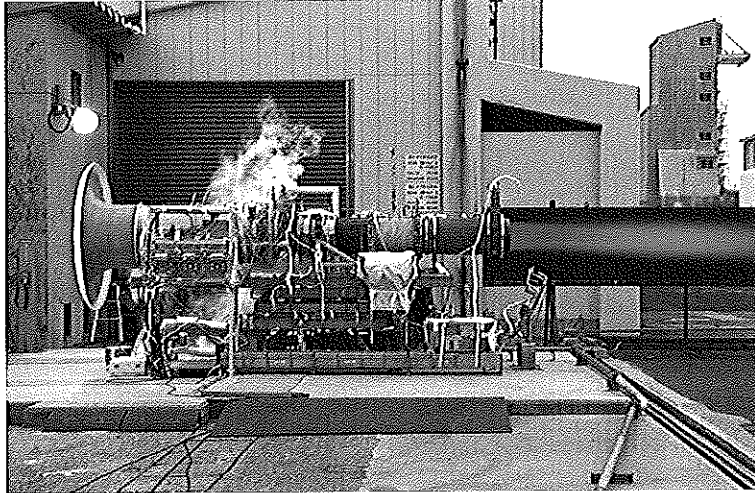
宇宙科学研究所  
所 長 松尾 弘 毅



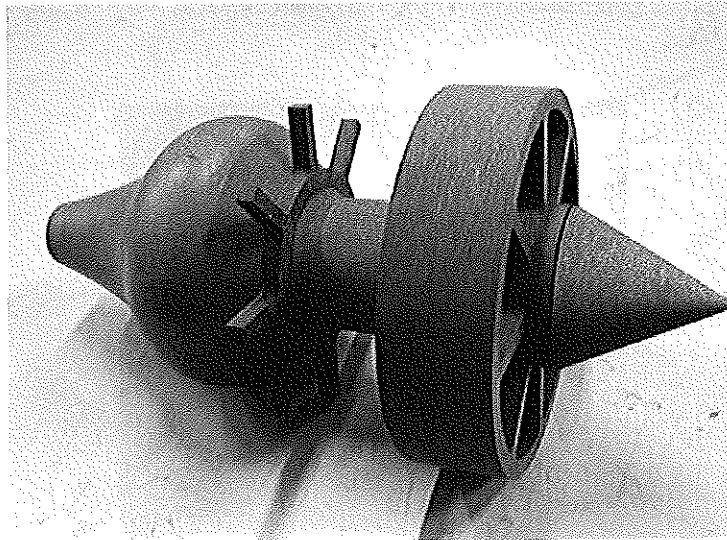
二段式スペースプレーン概念図



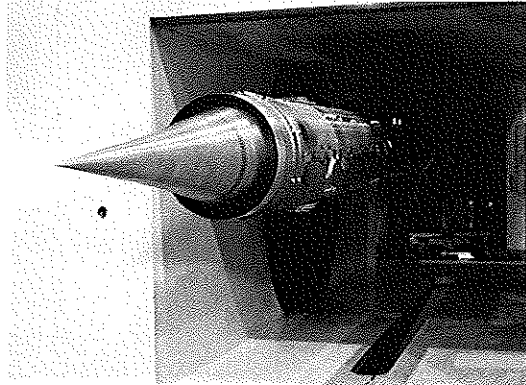
ATREXエンジン概念図



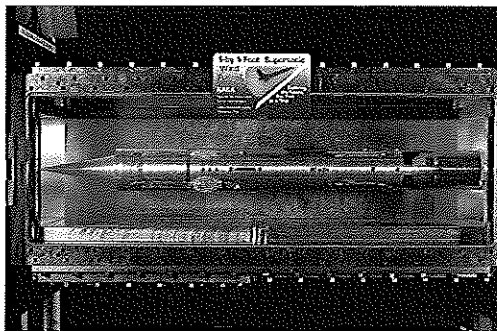
ATREXエンジンの地上燃焼試験写真



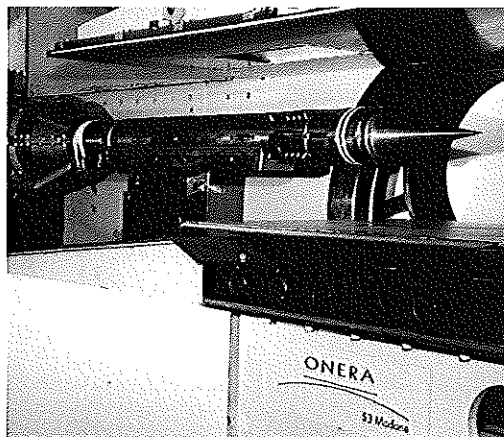
炭素・炭素複合材ノズルの試作写真



(1) 宇宙研超音速風洞, Mach 1.5~4.0



(2) NASA Glenn Research Center, Mach 3.5~5.5



(3) ONERA, Mach 1.7~3.0

超音速インテークの風洞試験写真



## ATREXエンジン開発研究実験班

ATREXエンジン開発研究は、宇宙研の「液水エンジン等基礎開発研究」の一環として、進めてきた。

この開発研究は、解析研究と共に各種の実験・試験によって世界最先端の技術を着実に開発してきた。その技術の多くは、世界に前例のない技術であり、実験・試験による実証無くしては、説得力を欠くものであった。このような重要な実験・試験に携わった実験班を以下に記す。

棚次亘弘

地上燃焼試験（能代ロケット実験場）

	所内	所外
実験主任	秋葉鏡二郎、倉谷健治、棚次亘弘	
保安主任	棚次亘弘、成尾芳博、堀恵一	
エンジン班	後藤健、小林弘明、佐藤哲也、棚次亘弘、成尾芳博 COE研究員：小島孝之 外国人客員教授：D. Manski, V. V. Balepin 外国人研究生：K. Yuri 東京大学大学院学生：朝日重雄、岡尚志、勘田将生、木村竜也 小林佛宇、原田賢哉、室岡武、山内洋、山城龍馬	石川島播磨重工：石井雅博、磯村浩介、板原寛治、小見淳介、 柏木武、金子正輝、小熊正人、柴田俊幸、洗川明宏、鈴木弘一、 園田繁、永原元一郎、東野和幸、広木強、木田武和、水谷智昭、 保田充彦、山本政彦、六反田格 川崎重工：内田正博、鶴雅英、木村秀雄、富家純一郎、 浜辺謙二、林省吾 航空宇宙技術研究所：岡井敬一 Poitiers大学：M. Bellenoue, T. Kageyama Purdue大学：S. N. B. Murthy
テストスタンド班	飯嶋一征、佐藤進司、佐藤哲也、瀬尾基治、徳永好志	住友重機械：加賀谷勇一、工藤一輝、桜庭彰、古塚善章、 菅田学 平川鉄工：平川政春、平川祐馬
操作・計装班	児玉光司、小林弘明、佐藤哲也、成尾芳博	住友重機械：岡元健次郎、小山佳憲、佐野雄介、中村裕、 吉川一郎、宮本和博 岩谷産業：表田新一、藤原裕史、広澤徳幸、松本和人、 宮村知宏、吉川隆行
計測班	石井信明、今澤茂夫、岡部達司、小川博之、小田欣司、 加勇田清勇、小林弘明、斎藤敏、佐藤清、佐藤哲也、霜田正隆、 富澤利夫、長谷部彬敏、平田安弘、藤田和央、本郷素行、 前田行雄、餅原義孝、山川宏、山田哲哉、山谷壽夫 COE研究員：小島孝之 研究生：小林清 東京大学大学院学生：朝日重雄、東伸幸、大久保隆、岡尚志、 川島秀人、勘田将生、岸野義宏、木村竜也、久保田篤、 桑原正光、児玉光司、小林佛宇、坪本卓、飛田晃宏、 原田賢哉、平田篤彦、藤松清人、松永研介、丸祐介、室岡武、 山内洋、山城龍馬、路銅	マイクロテック：河村成行、河村琢磨、河村亘、佐藤建三 日本エレクトロニクス：林武男
映像記録班	佐瀬育男、杉山吉昭、新倉克比古	電通：大江泰介、加藤孝信、坂本領臣、巽祐一郎、新宅知足、 西島房宏、藤沢敏之
文書記録班	猪俣子、三宅多美子、吉田邦子、吉山京子	
総務班	小林吾、三浦秀夫	

風洞試験（宇宙研、NASA GRC、ONERA Modane、航技研）

	所内	所外
エアークラウド	岡部達司、小林弘明、小林康徳、佐藤哲也、本郷素行 COE研究員：小島孝之 東京大学大学院学生：朝日重雄、勘田将生、飛田晃宏、丸祐介	川崎重工：内田正博、榎本吉也、木村秀雄、高木郁夫 NASA GRC：J. M. Abbott, J. A. Burkhart, G. A. Klamm, D. Palac, L. A. Povinelli ONERA：F. Brunel, F. Faleapin, T. Fargier, M. Grandjacques, J. P. Ledy, P. Novelli
プラグノズル	岡部達司、小林弘明、佐藤哲也、藤井孝敏、本郷素行 COE研究員：小島孝之 東京大学大学院学生：岡尚志、川島秀人、室岡武	石川島播磨重工：宇田川裕、小見淳介、徳永幸二、山本政彦
エンジン飛行実験機 (FTB)	安部隆士、岡部達司、川口淳一郎、小林弘明、佐藤哲也、 澤井秀次郎、坪井伸幸、藤井孝敏、本郷素行 東京大学大学院学生：朝日重雄、東伸幸、川島秀人、小松信義、 坪本卓、平田篤彦、山城龍馬、丸祐介	三菱重工：小笠原宏、加藤元三、小林夫、志村康治、西野亨、 南隆一、森健 航空宇宙技術研究所：小山忠勇、関根英夫、津田尚一、 平林則明、徳積弘一

炭素・炭素複合材料開発・試験

	所内	所外
	後藤健、八田博志、向後保雄 東京理科大学大学院学生：青木卓哉、浅野正、響田康宏、 小山昌志、重村卓、波谷一成、高田元広、西山勇一、坂東貴政、 樋口太郎	有次製作所：及川憲一 豊田自動織機：都築誠 IHIエアロスペース：宮川清

## 謝 辞

ATREXエンジン開発研究は、宇宙研の研究者が中心となって、石川島播磨重工、川崎重工、三菱重工と「民間との共同研究」として進めてきました。正式な民間との共同研究契約は以上の3社ですが、他の多くの民間企業のご支援を頂きました。エンジン試験設備の製作、維持、運転では、住友重機械工業のご支援を頂きました。地上燃焼試験では、能代市協力会や地元浅内地区の皆様にご協力頂きました。エアークの風洞試験では、NASA GRC、ONERA(Modane)、航空宇宙技術研究所の超音速風洞試験設備を使わせて頂き、貴重なデータを得ることが出来ました。また、多くの大学院生諸君の若い情熱と英知を傾けて頂いたことでこの開発研究を大きく前進させることができました。

ご協力いただきました全ての皆様に感謝の意を表します。

棚次巨弘

## ATREX研究開発関連の特許

考案の名称	考案者	登録番号	登録日
凝縮性気体を用いた着霜を伴う 極低温熱交換器の性能向上方法	棚次亘弘・原田賢哉	米国出願番号09/345.480	H11.7.1
		EPC出願番号99112780.4	H11.7.2
		特許番号6,301,928,B1	H13.10.16
エアブリージングエンジン用 プリクーラの着霜量低減方法	棚次亘弘・原田賢哉	特許3234898	H13.9.28
火炎伝播速度の計測装置	棚次亘弘・柏木 武	特許第3140543号	H12.12.15
低温熱交換器の性能向上方法	棚次亘弘・原田賢哉	特許第3020168号	H12.1.14
エアターボラムジェットエンジンの 流体混合保炎器	棚次亘弘・柏木 武・小幡正一	特許第3003347号	H11.11.19
エアターボラムジェットエンジンの 流体混合保炎器	棚次亘弘・柏木 武・小幡正一	特許第2981490号	H11.9.24
光ファイバー温度検出装置	棚次亘弘・柏木 武	実用新案登録 第2599273号	H11.7.2
航空機エンジン用超音速プリクーラ	棚次亘弘・林 省吾	特許第2654577号	H9.5.30
ガスタービンエンジン	棚次亘弘・六反田 格・川村岳郎	特許第3079187号	H3.4.30

考案の名称	考案者	出願番号	出願日
エアインテーク、及びエアインテーク 方法	小林弘明・棚次亘弘・佐藤哲也 ・小島孝之・丸祐介	特願2003-016096	H15.1.24

## ATREX研究開発関連の論文

## (1) 雑誌掲載論文 (国際)

1. N. Tanatsugu, et al., DEVELOPMENT STUDY ON THE AIR TURBO-RAMJET FOR FUTURE SPACE PLANES, Space Technology, Vol. 10, No.4, pp.225-230, 1990.
2. N. Tanatsugu, Y. Naruo, T. Sato, et al., DEVELOPMENT STUDY ON AIR TURBO RAMJET FOR A FUTURES SPACE PLANE, the Journal of Space Technology and Science, Vol. 8, No. 2, 1993.
3. N. Tanatsugu, Y. Naruo and I. Rokutannda, Test Results on Air Turbo Ramjet for a Future Space Plane, Acta Astronautica Vol.32, No.12, pp785-796, 1994.
4. N. Tanatsugu, T. Sato, et al., Development Study on ATREX Engine, Acta Astronautica, Vol. 40, No. 2-8, pp.165-170, 1997.
5. N. Tanatsugu, T. Sato, V. Balepin, et al., DEVELOPMENT STUDY ON ATREX ENGINE, Acta Astronautica Vol.41, No.12, pp.851-862, 1997.
6. Y. Kogo, H. Hatta, H. Kawada, T. Shigemura, Spin Burst Test of Carbon-Carbon Composite Disk, Journal of Composite Materials, 32(1), 1016-1035, 1998.
7. T. Sato, N. Tanatsugu, et. al., Development Study on ATREX Engine, Acta Astronautica Vol. 47, No. 11, pp.799-808, 2000.
8. K. Harada, N. Tanatsugu and T.Sato, Development Study on Precooler for ATREX Engine, AIAA Journal of Propulsion and Power, Vol.17, No.5, 2001.
9. Kozo Fujii, Kazuhiro Imai and Tetsuya Sato : Computational Analysis of the Flow Field Near the Boat-tail Region of Annular Plug Nozzles, JSME International Journal, Series B, Vol. 45, No. 4, 2002.

## (2) 雑誌掲載論文 (国内)

1. 棚次亘弘：ATRエンジンの開発研究、宇宙航空、Vol.1, No.2, 1993
2. 棚次亘弘：エアターボラムジェットの開発、機械の研究、VOL.48, NO.1, 1996
3. 小林弘明, 佐藤哲也：極超音速飛翔体の機体予圧縮に関する数値解析, 日本航空宇宙学会誌, Vol.46, No.532, pp.303-310, 1998
4. 佐藤哲也, 高木郁男, 小島孝之, 小林弘明：超音速機用軸対称型エアインテークの実験研究, 日本航空宇宙学会誌, Vol.46, No.539, pp.651-659, 1998
5. 棚次亘弘：宇宙科学研究所におけるスペースプレーン用エアターボラムジェットエンジンの研究開発, 日本ガスタービン学会誌, Vol.30, NO.1, pp.69-71, 2001
6. 佐藤哲也, 棚次亘弘, 原田賢哉, 小林弘明, 富家純一郎：極超音速空気吸い込み式エンジン用予冷却器（ブリクーラ）の開発研究, 日本航空宇宙学会誌, Vol.50, No.580, pp.24-31, 2002
7. 小林弘明, 佐藤哲也, 棚次亘弘：極超音速空気吸い込み式エンジンの最適設計, 日本航空宇宙学会誌, Vol.50, No.583, pp.335-342, 2002
8. 小島孝之, 佐藤哲也, 澤井秀次郎, 棚次亘弘：超音速エアブリージングエンジンの再始動制御に関する実験研究, 日本航空宇宙学会オンラインジャーナル, Vol.1, pp.32-39, 2002
9. 小島孝之, 佐藤哲也, 棚次亘弘, 榎本吉也「可減速環境下における軸対称型エアインテークの制御に関する実験的研究」、日本航空宇宙学会紙掲載決定

## (3) 学会発表論文 (国際)

1. N. Tanatsugu et al., A Study on Two-Stage Launcher with Air-Breathing Propulsion, AAS-JRS Joint Symposium held in Hawaii, 1985.
2. N. Tanatsugu et al., An Analytical Study on Two-Stage Launcher with Separate Ramjet and Rocket Propulsion, 15th International Symposium on Space Technology and Science, Tokyo, 1986.
3. N. Tanatsugu, Y. Inatani, T. Makino and T. Hiroki, Analytical Study of Space Plane Powered by Air-TurboRamjet with Intake Air Cooler, IAF- 87-264, IAF congress, Brighton, 1987.
4. N. Tanatsugu, et al., Development Study on Air Turbo-Ramjet for Future Space Plane, IAF-89-311, Malaga, 1989.
5. N. Tanatsugu, et al., Development Study on Expander Cycle Air Turbo-Ramjet with Intake Air Cooler for Space Plane, 901064, SAE Aerospace Atlantic, Dayton, 1990.
6. N. Tanatsugu, et al., Development Study on Air Turbo-Ramjet Engine for Space Plane, 17th International Symposium on Space Technology and Science, Tokyo, 1990.
7. N. Tanatsugu, Y. Naruo, et. al., Test Results of the Expander Cycle Air Turbo Ramjet for a Future Space Plane, IAF-91-271, Montreal, 1991.
8. N. Tanatsugu, Y. Naruo, et. al., Results of Sea-Level Static Tests on Air Turbo Ramjet for a Future Space Plane, 4th International Space Conference of Pacific-Basin Societies, 1991.
9. N. Tanatsugu, et al., TESTS RESULTS ON AIR TURBO RAMJET FOR A FUTURESPACE PLANE, 4th International Aerospace Planes Conference, Orland, Florida, 1992.
10. N. Tanatsugu, et al., Test Results on Air Turbo Ramjet for a Future Space Plane, IAF-92-0657, Washington DC, 1992.
11. N. Tanatsugu, et al., Test Results on Air Turbo Ramjet Engine for a Future Space Plane, 18th International Symposium on Space Technology and Science, Tokyo, 1992.
12. N. Tanatsugu, M. Oguma, HEAT TRANSFER CHARACTERISTICS OF HYDROGEN HEATER FOR AIR TURBORAMJET ENGINE, 1st International Conference on Aerospace Heat Exchanger Technology, Palo Alto, CA, USA, 15-17 Feb. 1993.
13. A. Okura et. al., "On the Test of Carbon-Carbon Composites Turbine Blade," Advanced Composites '93, International Conference on Advanced Composites, Wollongong, Australia, 1993.
14. N. Tanatsugu, et al., Development Study on Air Turbo Ramjet Engine for a Future Space Plane, 11th International Symposium on Air Breathing Engines, Tokyo, 1993.
15. N. Tanatsugu, et al., Development Study on ATREX Engine, 44th IAF Congress, Graz, 1993.
16. Tanatsugu, N., Sato, T., et. al., DEVELOPMENT STUDY ON ATREX ENGINE, 45th IAF Congress, Jerusalem, 1994.
17. N. Tanatsugu, et al., DEVELOPMENT STUDY ON ATREX ENGINE, ISTS 94-a-02, 19th International Symposium on Space Technology and Science, Tokyo, 1994.
18. N. Tanatsugu, DEVELOPMENT STUDY ON ATREX ENGINE, 6th International Aerospace Planes Conference, Chattanooga, 1994.
19. V.V. Balepin, et. al., Development Study of Precooling for ATREX Engine, ISABE 95-7015, Proceedings of 12th ISABE, 1995.
20. N. Tanatsugu, T. Sato, V. Balepin, et. al., Development Study on ATREX Engine, IAF-95-S.5.01, 46th IAF Congress, Oslo, 1995.
21. H. Hatta, Y. Kogo, N. Tanatsugu, T. Mizutani and H. Onabe, "Application of Advanced Carbon-Carbon

- Composites to a Tip Turbine Structure of ATREX Engine," Proc. 36th AIAA/AS, E/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics and Materials Conference, 1465-1474, 1995.
22. H. Hatta, Y. Kogo, N. Tanatsugu, T. Mizutani and H. Onabe, Application of Advanced C/C Composites to a Tip Turbine Structure of ATREX Engine," Proc. 4th Japan International SAMPE Symposium, 1153-1158, 1995.
  23. H. Hatta, Y. Kogo, N. Tanatsugu, T. Mizutani and H. Onabe, Application of Advanced Carbon-Carbon Composites to a Tip Turbine Structure of ATREX Engine," Proc. International Gas Turbine Congress, I-81-88, 1995.
  24. N. Tanatusgu, et. al., Development Study on ATREX Engine, IAF-96-S.5.03, 47th IAF Congress, Beijing, 1996.
  25. Y. Kougo, et. al., Advanced Carbon-Carbon Composites for Tip Turbine Structure of ATREX Engine, IAF-96-I.3.05, 47th IAF Congress, Beijing, 1996.
  26. N. Tanatusgu, et. al., Development Study on ATREX Engine, AIAA 96-4553, 7th International Aerospace Planes Conference, Norfolk, VA, 1996.
  27. T. Sato, N. Tanatusgu, et. al., DEVELOPMENT STUDY ON ATREX ENGINE, 96-a-2-13, 20th International Symposium on Space Technology and Science, Tokyo, 1996.
  28. N. Tanatsugu, V. Balepin, et al., DEVELOPMENT STUDY ON AIR INTAKE AND PRECOOLER FOR ATREX ENGINE, 96-a-2-14, 20th International Symposium on Space Technology and Science, Tokyo, 1996.
  29. Y. Kogo and H. Hatta, "Joint Structures of Carbon-Carbon Composites, 20th International Symposium on Space Technology and Science," ISTS-96-b-02, 1996.
  30. H. Hatta, Y. Kogo and N. Tanatsugu, "Application of Advanced Carbon-Carbon Composites to a Tip Turbine Structure of ATREX Engine, 20th International Symposium on Space Technology and Science," ISTS-96-b-02, 1996.
  31. Y. Kogo, H. Hatta, N. Tanatsugu, T. Sato, T. Mizutani and H. Onabe, "Advanced Carbon-Carbon Composites for Tip-Turbine Structure of ATREX Engine," 47th International Astronautical Congress, IAD-96-I. 3. 5. 1996.
  32. N. Tanatsugu, V.V. Balepin, et al., ATREX Engine Development, First Practical Experience of Precooled Turbomachinery, 5th AAAF Symposium, Paris, 1996.
  33. V.V.Balepin, M.Maita, N.Tanatugu and S.N.B.Murthy, Deep-Cooled Turbojet Augmented with Oxygen Cryojet for an SSTO Launch Vehicle, 32nd AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference, Lake Buena Vista, FL, 1996.
  34. N. Tanatsugu, Development Study on Air Turboramjet, Chapter 6, Developments in High-Speed-Vehicle Propulsion Systems, Vol. 165, AIAA, 1996.
  35. T.Sato, N. Tanatsugu, et al., Development Study on ATREX Engine for Future Spaceplane, 7th International Space Conference of Pacific-Basin Societies, 1997.
  36. H. Kobayashi, Numerical and Experimental Study on Precompression Effect for Hypersonic Vehicle, 7th International Space Conference of Pacific-Basin Societies, 1997.
  37. K. Harada, H. Yamauchi, N. Tanatsugu, et. al., Development Study on Precooler for ATREX Engine, 7th International Space Conference of Pacific-Basin Societies, 1997.
  38. T. Sato, N. Tanatsugu, et al., DEVELOPMENT STUDY ON ATREX ENGINE SYSTEM, IAF-97-S.5.01, 48th IAF Congress, Turin, 1997.
  39. H. Hatta, N. Tanatsugu, Y. Kogo, et al., Application of Advanced Carbon-Carbon Composites to a Tip Turbine Structure of the Atrex Engine, 5th Japan International SAMPE Symposium, pp.1171-1176, Tokyo, 1997.
  40. H. Hatta, Y. Kogo, M. Yoshizawa, N. Tanatsugu, H. Onabe, M. Onozuka and F. Tomioka," Application of Advanced Carbon-Carbon Composites to Tip Turbine Structure of the ATREX Engine," Proc. of ICCM-11, I-283-

- I294, 1997.
41. H. Hatta, K. Goto, N. Tanatsugu, Y. Kogo, H. Onabe, M. Onozuka and F. Tomioka, "Application of Advanced Carbon-Carbon Composites to Tip Turbine Structure of the ATREX Engine," Proc. of International Workshop on Advanced Materials for Functional Manifestation of Frontier and Environmental Consciousness, 175-180, 1997.
  42. H. Hatta, Y. Kogo, N. Tanatsugu and H. Onabe, "Application of Advanced Carbon-Carbon Composites to a Tip Turbine Structure of ATREX Engine," Proc. 3rd Japan-India Joint Seminar on Manufacturing Science of Advanced Composites, 108-117, 1997.
  43. T. Sato, N. Tanatsugu, Y. Naruo and H. Hatta : Development Study on ATREX Engine , IAF-98-S.5.01, 49th International Astronautical Congress, Melbourne, 1998.
  44. T. Sato, N. Tanatusgu, et al., DEVELOPMENT STUDY FOR ATREX ENGINE FLIGHT TEST, 98-a-1-29, 21st International Symposium on Space Technology and Science, Morioka, 1998.
  45. K. Goto, H. Hatta, Y. Kogo, Nobuhiro Tanatsugu, H. Onabe, M. Onozuka, F. Tomioka, "Development Study of Carbon-Carbon Composite Turbine Disk for ATREX Engine, " Proceedings of The 4th International Symposium for Textile Composites, p-28-1 - p-28-8, 1998.
  46. Y. Kogo, H. Hatta, H. Kawada, T. Shigemura, H. Onabe, T. Mizutani and F. Tomioka, "Spin Burst Test of Carbon-Carbon Composite Disk," Composite Materials, 32, [11], 1016-1035, 1998.
  47. T. Sato, N. Tanatsugu, et al., DEVELOPMENT STUDY ON THE PRECOOLING SYSTEM OF ATREX ENGINE, IAF-99-S.5.04, 50th International Astronautical Congress, Amsterdam, 1999.
  48. K. Harada, N. Tanatsugu and T.Sato, et al., Development Study on Precooler for ATREX Engine, AIAA 99-4897, 9th International Space Planes and Hypersonic Systems and Technologies Conference, Norfolk, 1999.
  49. R. Akiba, T. Kanda and N. Tanatsugu, SOCIALLY AFFORDABLE FUTURE SPACE TRANSPORTATION SYSTEM, 8th International Space Conference of Pacific-Basin Societies, Xi'an, 1999.
  50. H. Kobayashi, N. Tanatsugu, T. Sato, THERMAL MANAGEMENT OF PRECOOLED ATREX ENGINE WITH EXPANDER CYCLE, 15th ISABE, Florence, 1999.
  51. K. Goto, H. Hatta and N. Tanatsugu, Development Study of Carbon-Carbon Composite Turbine Disk for Future Space Propulsion System, 6th Japan International SAMPE Symposium, 1111-1114, 1999.
  52. T. Sato, N. Tanatsugu, et al., DEVELOPMENT STUDY ON THE ATREX ENGINE, IAF-00-S.5.02, 51th International Astronautical Congress, Rio de Janeiro, 2000.
  53. N. Tanatsugu and N. Yatsuyanagi, Survey on Japan's Activities Related to Air Breathing Engines for Space Transportation Systems, IAF-00-V.4.05, 51th International Astronautical Congress, Rio de Janeiro, 2000.
  54. H. Kobayashi, T. Sato, N. Tanatsugu, Sizing Analysis for the TSTO Fly-back Booster Powered by ATREX Engines, IAF-00-V.3.08, 51th International Astronautical Congress, Rio de Janeiro, 2000.
  55. T. Kojima, N. Tanatsugu, Tetsuya Sato and Y. Enomoto, Experimental Study On Inlet Control System For Hypersonic Flight, ISTS 2000-a-08, 22nd International Symposium on Space Technology and Science, Morioka, 2000.
  56. T. Sato, N. Tanatsugu, et al., DEVELOPMENT STUDY ON THE PRECOOLER OF ATREX ENGINE, ISTS 2000-a-7, 22nd International Symposium on Space Technology and Science, Morioka, 2000.
  57. K. Goto, H. Hatta and N. Tanatsugu, Rotational Fracture of Carbon-Carbon Composites, 10th Iketani Conference on Materials Reserach Toward the 21st Century, Karuizawa, 2000.
  58. H. Hatta and K. Goto, "Development study on Turbine Disk of Carbon-Carbon Composites," 22nd International Symposium on Space Technology and Science, Morioka, 2000.

59. H. Hatta, K. Goto, Application of Advanced Carbon-Carbon Composites to ATREX Engine," Proc. of Indo-German Workshop on High Temperature Composite Materials, 35-43, 2000.
60. T. Kojima, N. Tanatsugu, et al., DEVELOPMENT STUDY ON AXISYMMETRIC AIR INLET FOR ATREX ENGINE, 10th International Aerospace Planes Conference, Kyoto, 2001.
61. H. Kobayashi, T. Sato and N. Tanatsugu, Optimization of Airbreathing Propulsion System for the TSTO Spaceplane, AIAA-2001-1912, 10th International Space Planes and Hypersonic Systems and Technologies Conference, 2001.
62. K. Isomura, J. Omi, T. Murooka, N. Tanatsugu, T. Sato, A Feasibility Study of an ATREX Engine at Approved Technology Levels, AIAA-2001-1836, 10th International Space Planes and Hypersonic Systems and Technologies Conference, 2001.
63. K. Harada, T. Kimura, T. Sato, N. Tanatsugu, IMPROVEMENT OF PERFORMANCE OF THE PRECOOLED CYCLE ENGINE SPOILED BY ICING, AIAA-2001-1840, 10th International Space Planes and Hypersonic Systems and Technologies Conference, 2001.
64. H. Kobayashi, N. Tanatsugu, Optimization Method on TSTO Spaceplane System Powered by Air-breather, 37th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference, AIAA 2001-3965, Salt Lake City, 2001.
65. T. Sato, N. Tanatsugu, et. al., Countermeasures against the Icing on the ATREX Precooler, IAF-01-S.5.02, 52th International Astronautical Congress, Toulouse, 2001.
66. K. Isomura, J. Omi, N. Tanatsugu, et. al., A FEASIBILITY STUDY OF A NEW ATREX ENGINE SYSTEM OF AFT-TURBINE CONFIGURATION, IAF-01-S.5.03, 52th International Astronautical Congress, Toulouse, 2001.
67. K. Goto, H. Hatta, Tetsuya Sato and Nobuhiro Tanatsugu, "Development Study of Carbon-Carbon Turbine Disk for ATREX Engine," Proceedings of The 7 th Japan International SAMPE Symposium, 589-592, 2001.
68. H. Hatta, K. Goto, Y. Kogo and Masayuki Ichikawa, "Heat Exchangers for Air-Turbo-Ram-Jet Engine," Proceedings of High Temperature Ceramic Matrix Composites 4, Ed. W. Krenkel, R. Naslain and H. Schneider, 797-801, 2001.
69. H. Kobayashi, T. Sato, N. Tanatsugu, Evaluation of Countermeasures against Icing on the Cryogenic Precooler, 2002-a-13, 23rd International Symposium on Space Technology and Science, Matsue, 2002.
70. T. Kojima, et. al, Experimental Study on Control System of Supersonic Airbreathing Engine, 2002-a-15, 23rd International Symposium on Space Technology and Science, Matsue, 2002.
71. T. Sato, et al, Present Status of the ATREX Engine Development toward the Flight Test, 23rd International Symposium on Space Technology and Science, Matsue, 2002.



## 既 刊 行 物

- 特集第 18 号 (1986 年 12 月) 大型スペースチェンバー設備成果報告書  
特集第 19 号 (1987 年 3 月) ハレー彗星探査研究報告  
特集第 20 号 (1987 年 8 月) 大気球研究報告  
特集第 21 号 (1988 年 3 月) 宇宙観測研究報告  
特集第 22 号 (1988 年 11 月) 大気球研究報告  
特集第 23 号 (1989 年 3 月) 宇宙観測研究報告  
特集第 24 号 (1989 年 12 月) 大気球研究報告  
特集第 25 号 (1990 年 3 月) 宇宙観測研究報告  
特集第 26 号 (1990 年 3 月) 下部電離層エネルギー収支に関する研究  
特集第 27 号 (1990 年 12 月) 大気球研究報告  
特集第 28 号 (1991 年 3 月) 宇宙観測研究報告  
特集第 29 号 (1991 年 6 月) M-3S II 型ロケット (1 号機から 3 号機まで)  
(第 1 巻)  
特集第 30 号 (1992 年 2 月) 大気球研究報告  
特集第 31 号 (1993 年 3 月) 大気球研究報告  
特集第 32 号 (1995 年 3 月) 大気球研究報告  
特集第 33 号 (1996 年 3 月) 大気球研究報告  
特集第 34 号 (1997 年 3 月) 大気球研究報告  
特集第 35 号 (1997 年 3 月) SFU 実験報告 (システム編)  
特集第 36 号 (1997 年 3 月) SFU 実験報告 (搭載実験編)  
特集第 37 号 (1998 年 3 月) 大気球研究報告  
特集第 38 号 (1998 年 3 月) SEEK (Sporadic-E Experiment over Kyusyu) キャン  
ペーン報告  
特集第 39 号 (1999 年 3 月) 大気球研究報告  
特集第 40 号 (2000 年 3 月) 大気球研究報告  
特集第 41 号 (2001 年 2 月) 大気球研究報告  
特集第 42 号 (2001 年 3 月) WAVE2000 キャンペーン報告—下部熱圏縞々模様  
の解明—  
特集第 43 号 (2001 年 3 月) 太陽発電衛星SPS2000研究成果報告  
特集第 44 号 (2002 年 3 月) 大気球研究報告

---

## 宇宙科学研究所報告

### 特集 第 46 号

2003 年 3 月

発行者 宇宙科学研究所  
〒229-8510 神奈川県相模原市山野台 3-1-1  
電話 (042) 759-8009  
印刷社 株式会社 ワークワン  
〒229-1125 神奈川県相模原市田名塩田 1-14-2  
電話 (042) 778-6765

---

WAS