

次世代宇宙構造物開発に関する研究

研究代表者 宮下 朋之
(創造理工学部 総合機械工学科 教授)

1. 研究課題

宇宙構造物は、宇宙空間での活動を支える基盤として必要不可欠なものである。より軽量で大型な構造物が、宇宙空間での無重力・放射線暴露・太陽輻射環境を考慮して開発する必要がある。大型な宇宙構造物は、太陽光からの発電量を増大させることが可能となることが見込まれ、また、伝送波を効率よく受信できるため、電波観測や情報通信への高効率化を実現するためにも必要となる。宇宙空間へ構造物を輸送するためには、ロケットなどの推進機構が必要となる。一般には、搭載容積の制限を制約条件として、収納・展開機能が構造物には求められる。このような状況より、将来において以下の特性を備える構造物の開発が必要と考えられる。

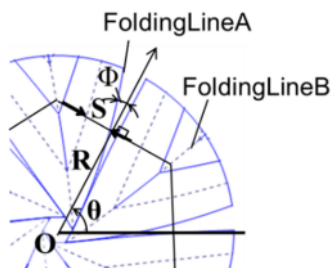
- (1) 要求領域に効率を高く収納可能であること
- (2) 伸展・展開が精度を高く動作可能であること
- (3) 組立・分解を容易とすること
- (4) 民生品部品を活用した人工衛星・探査装置・探査機のダウンサイジング

これらのため、しわや折り目が平面・鏡面精度に影響が少ない折り畳み方法、摺動要素の管理技術や構造様式の多様性の管理した設計技法が必要であり、民生品による費用逓減・打ち上げ機会を活用した費用便益の高い各種の実証研究の実施が必要である。

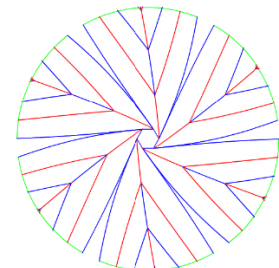
2. 主な研究成果

(1) 膜面の収納技術

円筒領域へ膜面（曲面）を折り畳み収納し、さらに、しわの発生源である膜厚の影響を考慮した折り目の算出方法を考案した。図1は折り目を示しており、山・谷折りに従って機械構造物の基本形状の一つである円筒形状に折りたたむことが可能である。膜厚を考慮することが可能であり、しわの発生が低減できることに加え、膜面状の敷設構造物が存在する状況において、円筒形状に収納することが可能である。



$$\tan \phi = \frac{R d\theta}{dR}$$
$$\frac{dS}{d\theta} = -S \tan \phi + \frac{db}{\cos \phi d\theta}$$
$$\frac{\pi r dr}{(kR - NR \tan \gamma) dR} = \frac{t}{S \cos \phi}$$



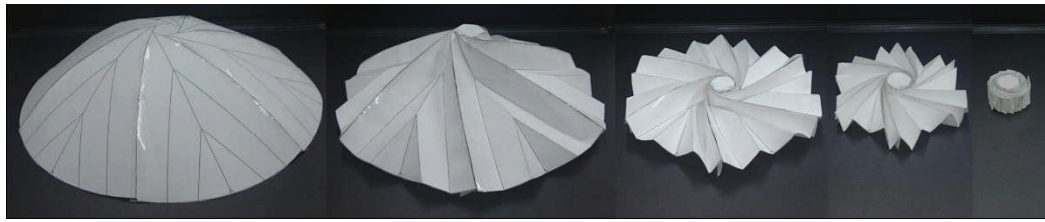


図1 折り目支配方程式の定式化と算出した折り目

折り畳みが可能となることにより、地上応用として、腹腔鏡を使用して、膜面状の医療材料を体内に容易に輸送し、展開することにより、付着対象物へ、短時間に貼付することが可能である。また、自動車用エアバックの円筒形状への収納も可能である。

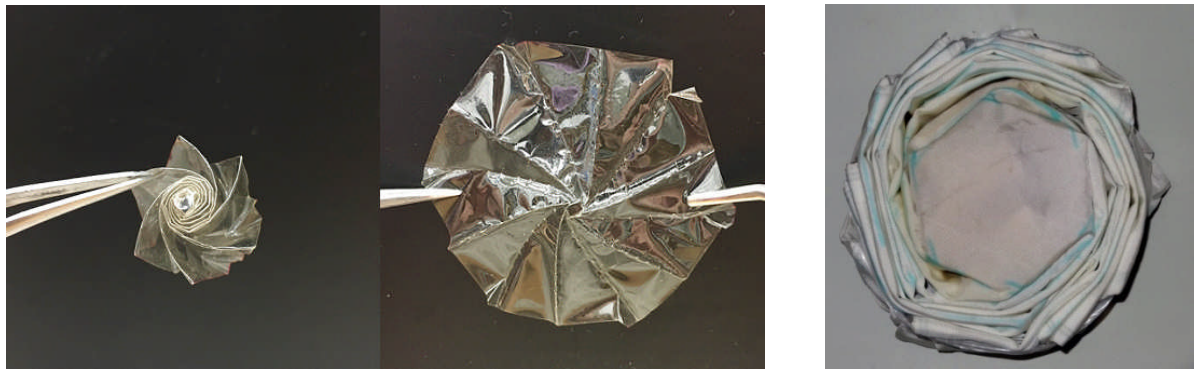


図2 らせん折り絆創膏（左）と自動車用エアバック（右）

(2) 収納架台の伸展技術

収納を可能とするために、一定の隙間を機械要素間に定義することが必要である一方、摺動面には、摩擦が生じ、摩擦特性に応じた挙動が構造物に現れる。隙間が存在することにより力学的安定点は、寸法に対して広く存在する。このため、いくつかの摩擦特性に応じた構造形状の挙動の影響を調査した。架台には宇宙空間における太陽光の輻射熱の影響を考慮した。架台の摺動部のすべてに摩擦特性を定義し、実験値と比較した。実験では温度依存性が観測されたが、摩擦モデルを使用した解析結果において、特定の摩擦モデルにおいて整合性が認められることが明らかになった。

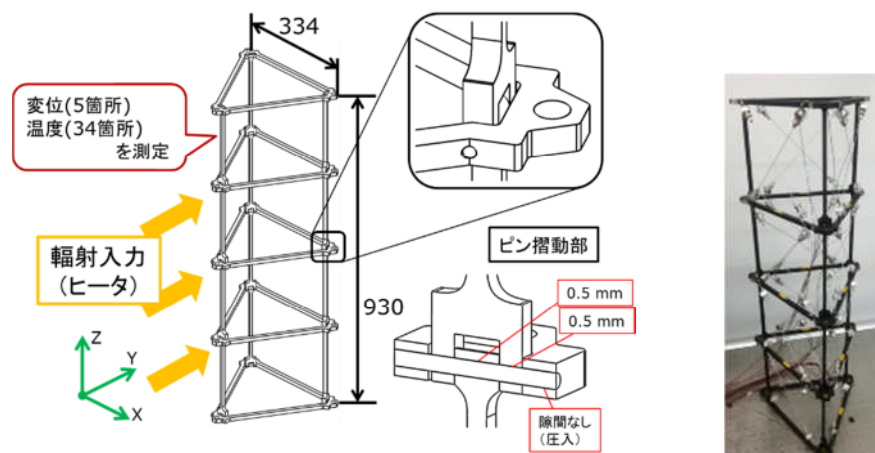
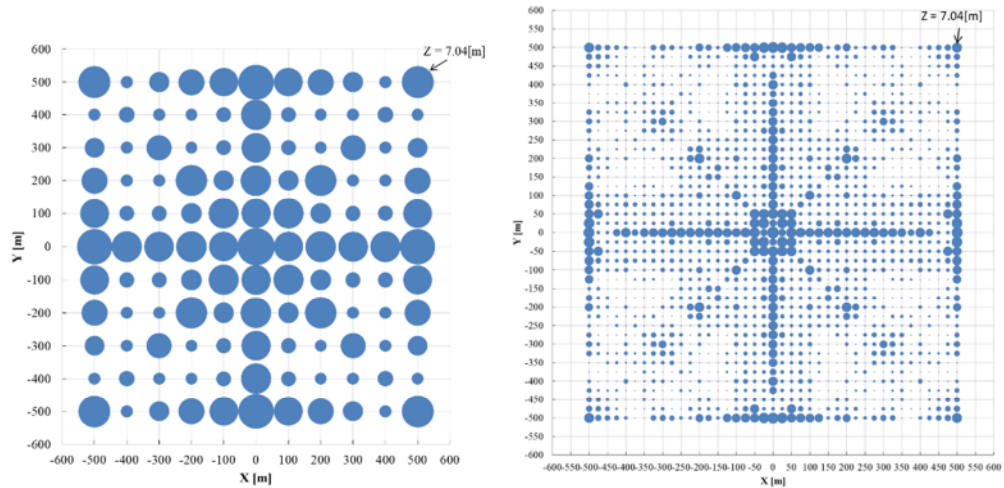


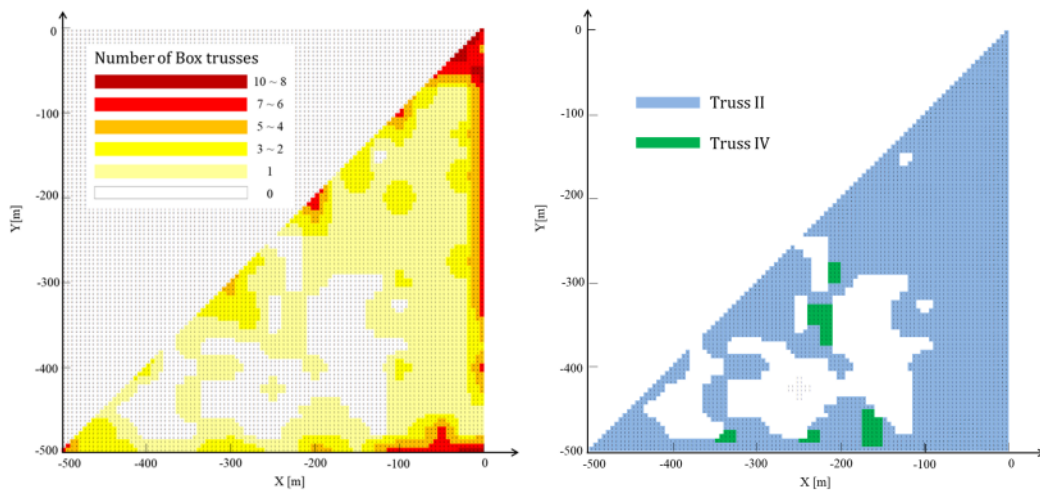
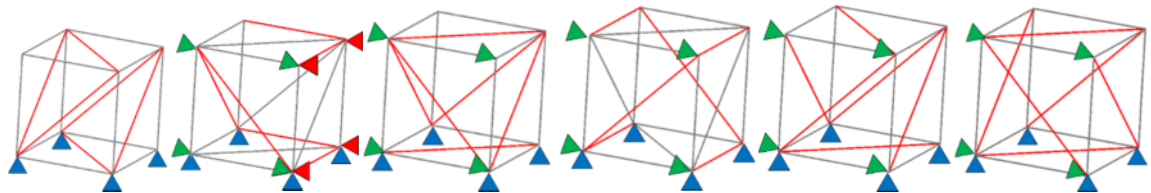
図3 伸展架台の摺動特性解析・実験

(3) 組立・分解性を考慮した宇宙構造物設計

大型構造物の輸送・展開・組立を一定の剛性を確保する条件下で実現するための設計技法を検証した。モジュールの概念を構造寸法より定義し、いくつかの次元を相違する段階を経て設計する技法を提案した。宇宙太陽光発電システム（SSPS）などでの利用を想定した活動である。



(a) 600m 領域での質量・剛性制約下での剛性配分



(b) 収納可能トラス形状の一覧と構造への割り当て

図4 超大型平面宇宙構造物

(4) 次世代探査機的设计

民生部品の最大限の活用を前提に、Hayabusa-1, 2、Unisec-1、Hodoyoshi、Proxion の活動を

参考にし、科学ミッションの側面より、資源探査や放射性デブリの調査をミッションとした衛星設計を実施した。搭載素子の性能検証を進めた。

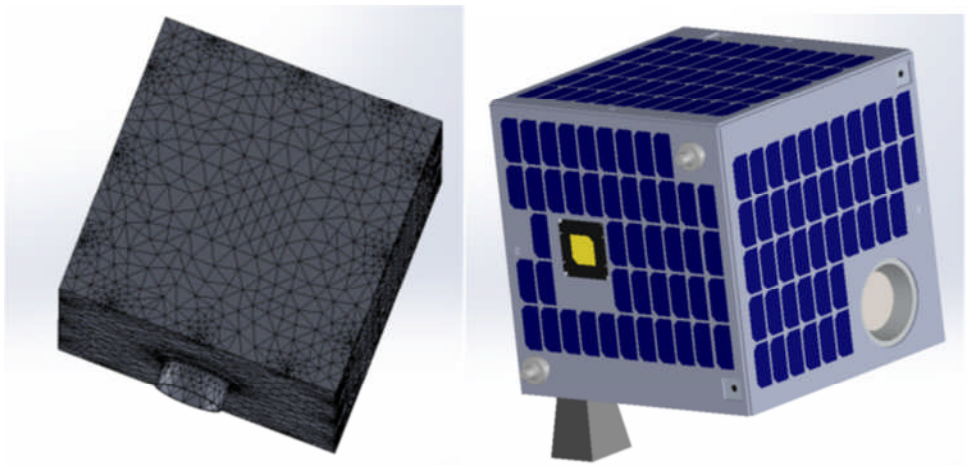


図 5 Waseda-SAT X

(5) その他

他に以下のような研究テーマを実施しています。

- ① 平面アンテナの形状最適化と実験検証
- ② 分光計のダウンサイジング
- ③ デブリ除去技術の開発
- ④ リアクションホイールの利用技術

3. 共同研究者

嶋本薫
鳥居祥二
長谷部信行

4. 研究業績

4.1 学術論文

掲載した論文（発表題目）	発表者氏名	発表した場所 （学会誌・雑誌等名）	発表時期
Energy calibration of CALET onboard the International Space Station	Y. Asaoka, Y. Akaike, Y. Komiya, R. Miyata, S. Torii, et al.	Astroparticle Physics Vol. 91 pp.1-10	2017.3
An Investigation of Elemental Composition of Martian Satellites by Gamma-ray and Neutron Spectrometer	Nubyuki Hasebe, Tohru Ohta, Yoshiharu Amano, Masayuki Naito, Hiroki Kusano, Hiroshi Nagaoka, Kohei Yoshida, Takuto Adachi, Timothy J. Fagan, Haruyoshi Kuno, Eido Shibamura, Akira Hitachi, José A. Matias Lopes, Jesus Martínez-Frías, Tomoki	JPS. Conference Proc. 11, 040006	2016.11

	Nakamura, Shingo Kameda, Yuichiro Cho, Naoki Shirai, Hideaki Miyamoto, Takafumi Niihara, Takashi Mikouchi, Tatsuaki, Okada, and Yuzuru Karouji		
Current Development Status of an X-ray Generator for X-ray Fluorescence Analysis on Space Mission	Hiroki Kusano, Nobuyuki Hasebe, Hiroshi Nagaoka, Masayuki Naito, Miho Mizone, Yoshiharu Amano, Eido Shibamura, and Haruyoshi Kuno	JPS. Conference Proc. 11, 040005	2016.11
Instrumental Overview of an Active X-ray Spectrometer for Future Lunar Landing Mission	Hiroshi Nagaoka, Nobuyuki Hasebe, Hiroki Kusano, Yoshiharu Amano, Eido Shibamura, Toru Ohta, Timothy J. Fagan, Masayuki Naito, Haruyoshi Kuno, and José A. Matias Lopes	JPS. Conference Proc. 11, 040004	2016.11
Development of Gas Ionization Chambers with Coplanar Electrode for Alpha-ray Spectrometry	Kenta Iwasaki, Naomichi Tanaka, Kohei Murakami, Kusano Hiroki, Eido Shibamura, Nobuyuki Hasebe, and Mitsuhiro Miyajima	JPS. Conference Proc. 11, 010003	2016.11
Gamma-ray Emission from the Surface of Martian Satellites as a Function of Elemental Composition	Kouhei Yoshida, Masayuki Naito, Nobuyuki Hasebe, Hiroki Kusano, Hiroshi Nagaoka, Junya Ishii, and Daisuke Aoki	JPS. Conference Proc. 11, 040007	2016.11
Neutron Fluxes from Martian Satellites as a Function of Chemical Composition and Hydrogen Content	Masayuki Naito, Nobuyuki Hasebe, Kouhei Yoshida, Junya Ishii, Daisuke Aoki, Hiroshi Nagaoka, Hiroki Kusano, and Eido Shibamura	JPS. Conference Proc. 11, 050003	2016.11
A study on the design of deployable cable-panel structure	Seino, K., Parque, V., Miyashita, T.	2017 4th AIAA Spacecraft Structures Conference, 2017	2017.1
Expansion and measurement of spiral folded membrane by small satellite	Miyashita, T., Yamakawa, H., Katsumata, N., Natori, M.C.	2017 4th AIAA Spacecraft Structures Conference, 2017	2017.1
Missions of Small Satellite with Deployable Membrane Using Spiral Folding Lines	Tomoyuki MIYASHITA, Nobuhisa KATSUMATA, Hiroshi YAMAKAWA, Michihiro NATORI	International Symposium on Solar Sailing	2017.1
A high performance neutron spectrometer for planetary hydrogen measurement	3. M. Naito, N. Hasebe, H. Nagaoka, J. Ishii, D. Aoki, E. Shibamura, K.J. Kim, J.A. Matias-Lopes, J. Martínez-Frías	Proc. SPIE 10392 (2017) 103929C. DOI: 10.1117/12.2273735	2017
Improved pyroelectric X-ray generator for planetary active	M. Naito, N. Hasebe, H. Nagaoka, Y. Oshima, M.	Proc. SPIE 10392 (2017) 1039215.	2017

X-ray spectroscopy	Mizone, E. Shibamura, H. Kuno, K.J. Kim, J.A. Matias-Lopes, J. Martínez-Frias	DOI: 10.1117/12.2273773	
Iron distribution of the Moon observed by the Kaguya gamma-ray spectrometer: Geological implications for the South Pole-Aitken basin, the Orientale basin, and the Tycho crater	M. Naito, N. Hasebe, H. Nagaoka, E. Shibamura, M. ohtake, K.J. Kim, C. Wöhler, A.A. Berezhnoy	Icarus 310 (2018) 21-31. DOI: 10.1016/j.icarus	2017.12
A Unique Power Control Algorithm using Game Theory in Dense Networks	ゴスワミ メガリー , カン カン , パン ジェニー , 嶋本 薫	電子情報通信学会 信学技報 117(456)	2018-02
Dynamic Power Allocation in Parallel Interference Cancellation based NOMA Receiver	ダバリ ビカス , エルナワン モハメド エリック , パン ジェニー , 劉 江 , 嶋本 薫	電子情報通信学会 信学技報 117(456)	2018-02
Game-Theory-Based Distributed Power Splitting for Future Wireless Powered MTC Networks	Kang, K., Ye, R., Pan, Z., Liu, J., Shimamoto, S.	IEEE Access, Volume 5, 23 September 2017, Article number 8049261, Pages 20124-20134	2017-09
Development of X-ray Generator for Active X-ray Fluorescence Spectroscopy of Future Lunar Landing Mission and Its Contribution to Lunar Science	H. Nagaoka, N. Hasebe, M. Naito, E. Shibamura, H. Kuno, M. Mizone, K.J. Kim	Transaction of JSASS, Aerospace Technology	2018

4.2 招待講演

発表した場所	発表者氏名	発表した時期
西安電子科技大学	宮下朋之	2018-03

4.3 学会および社会的活動

発表した成果	発表者氏名	発表場所	発表時期
Fairness-aware hybrid resource allocation with cross-carrier scheduling for LTE-U system	Dong, Y., Pan, Z., Kang, K., Liu, J., Shimamoto, S., Wicaksono, R.P., Kunishige, S., Chang, K	IEEE 4th iCatse Conference on Mobile and Wireless Technology	2017-06
Novel UE RF condition estimation algorithm by integrating machine learning	Dong, Y., Pan, Z., Ernawan, M.E., Liu, J., Shimamoto, S., Wicaksono, R.P., Kunishige, S., Chang, K.	IEEE 4th iCatse Conference on Mobile and Wireless Technology	2017-06
Numerical Estimation of	M. Naito, J. Ishii, D. Aoki, H.	31st ISTS, Ehime,	2017-06

Gamma-ray Spectroscopy for Deep Space Microsatellite” 31st I	Nagaoka, E. Shibamura, N. Hasebe	Japan	
A game theory based power control algorithm for future MTC NOMA networks	Kang, K., Pan, Z., Liu, J., Shimamoto, S.	IEEE 2017 14th IEEE Annual Consumer Communications and Networking Conference, CCNC 2017	2017-07
Partnership and data forwarding model for data acquisition in UAV-aided sensor networks	Say, S., Inata, H., Ernawan, M.E., Pan, Z., Liu, J., Shimamoto, S.	IEEE 2017 14th IEEE Annual Consumer Communications and Networking Conference, CCNC 2017	2017-07
伸展式架台の軌道上におけるサーマルスナップの低減に関する研究	浅沼典宏, 宮下朋之	日本航空宇宙学会 第59回構造強度に関する講演会	2017-08
A high performance neutron spectrometer for planetary hydrogen measurement	Naito, M.a, Hasebe, N., Nagaoka, H., Ishii, J.a, Aoki, D., Shibamura, E.b, Kim, K.J., Matias-Lopes, J.A., Martínez-Frías, J.	Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering	2017-08
Improved pyroelectric x-ray generator for planetary active x-ray spectroscopy	Naito, M, Hasebe, N, Nagaoka, H, Oshima, Y, Mizone, M, Shibamura, E, Kuno, H, Kim, K.J, Matias-Lopes, J.A, Martínez-Frías, J.	Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering	2017-08
A high performance neutron spectrometer for planetary hydrogen measurement	M. Naito, N. Hasebe, H. Nagaoka, J. Ishii, D. Aoki, E. Shibamura, K.J. Kim, J.A. Matias-Lopes, J. Martínez-Frías	SPIE Optics + Photonics 2017, San Diego, USA	2017-08
Waseda SAT-X: --- Miniaturized Deep Space Probe ---	T. Miyashita, N. Hasebe, S. Torii, S. Shimamoto, T. Ohta, T. J. Fagan, H. Nagaoka, M. Naito, and Y. Sato	Committee on Space Research Symposium	2017-09
Thermal Snap on the Bench of a Telescope for Small Satellites	Asanuma N., Miyashita T.	Committee on Space Research Symposium	2017-09
Improved pyroelectric X-ray generator for planetary active X-ray spectroscopy	M. Naito, N. Hasebe, H. Nagaoka, Y. Oshima, M. Mizone, E. Shibamura, H. Kuno, K.J. Kim, J.A. Matias-Lopes, J. Martínez-Frías	Committee on Space Research Symposium	2017-09
The Kaguya Gamma-ray	M. Naito, N. Hasebe, H.	SELENE	2017-09

Spectrometer (KGRS) products and their scientific overviews	Nagaoka, E. Shibamura	Symposium 2017, Tokyo, Japan,	
伸展マスト構造でのサーマルスナップ現象における摩擦特性の影響	清水慎之介, 浅沼典宏, 山川宏, 宮下朋之	第61回宇宙科学技術連合講演会	2017-10
周期的熱荷重による試験環境変動にロバストな熱変形試験法の成立性評価	宮崎, 石村康生, 佐藤, 宮下朋之	第33回宇宙構造・材料シンポジウム	2017-12
キネマチックカップリングにおける熱変形時の界面の滑りについて-温度変化の特性に対する依存性の評価	浅沼典宏, 石村康生, 佐藤, 宮下朋之	第33回宇宙構造・材料シンポジウム	2017-12
Improved Lunar Iron Map Obtained by the Kaguya Gamma-ray Spectrometer	M. Naito, N. Hasebe, H. Nagaoka, E. Shibamura, M. Ohtake, K.J. Kim, C. Wöhler, A.A. Berezhnoy	New Views of the Moon 2, Aizuwakamatsu, Japan	2018-04

5. 研究活動の課題と展望

火星探査や惑星探査など次世代宇宙構造物開発では、機械を着実に稼働可能な状態で宇宙空間に提供することが求められる一方で、有人探査としての利用も望まれている。生命維持に直接的に必要とされる構造物となり、観測機器を含めた総合的な設計技法を着実に成熟させていく必要がある。今後の継続的な研究活動及び創造理工学研究科/惑星探査・衛星システム専修コースと連動した教育活動へ貢献し、宇宙政策・企業活動と積極的に連携していきます。