

Kim表面界面科学研究室
Surface and Interface Science Laboratory

准主任研究員 金 有洙 (工博)
KIM, Yousoo (Dr. Eng.)



キーセンテンス：

1. 金属表面や金属酸化物表面における単一分子の化学反応及び局所物性を制御する
2. 自己組織化有機単分子膜の構造及び電子物性を調べる
3. ナノスケール表面・界面におけるエネルギー変換機構を解明する

キーワード：

単分子、局所スペクトロスコーピー、ナノ構造化学、ナノ構造形成・制御、表面界面、金属酸化物、エネルギー変換、ナノカーボン材料、表面・界面、走査プローブ顕微鏡

研究目的

エネルギーの移動や変換の過程を個々の分子や原子に対して詳細に記述することは、微小デバイスにおけるエネルギー利用の高効率化・高機能化、あるいは触媒表面における物質変換の効率向上を図る上で最も重要な要素の1つである。当研究室では、表面および界面におけるエネルギー移動・変換過程の学理を探究することを目指し、主に走査プローブ顕微鏡法による実験と密度汎関数法による理論計算の両面で、分子・原子レベル研究を行っている。今年度は、以下に挙げた3研究項目を中心に研究を推進した。(1) 金属単結晶表面や金属酸化物表面上の単一分子における電子移動現象の計測と化学反応の制御に関する研究。(2) 自己組織化有機薄膜における表面電子物性および界面での電荷移動、金属電極上のナノグラフェンにおける局所電子構造の解明および化学修飾による物性制御に関する研究。(3) 低次元ナノ材料における「光-電子」エネルギー変換機構の解明に向けた新規装置の開発。

1. 金属表面や金属酸化物表面における単一分子の化学反応及び局所物性の制御

① 金(111)表面上の鉄フタロシアニン分子における近藤効果 (南谷英美, 金有洙)

近藤効果は局在スピントと金属の伝導電子の相互作用によって生じる代表的な多体効果であり、様々なシステムでその存在が確認されている。近年、磁性分子を金属表面に吸着させた系においても近藤効果が発現しうることが走査トンネル顕微鏡分光から確認されている。分子における電子状態は、配位子場の対称性に大きく影響されるため、配位子場を操作することにより、近藤効果をコントロールできることが期待される。Au(111)面上の鉄フタロシアニン分子は *ontop* サイトと *bridge* サイトに吸着し、各吸着サイトでの近藤共鳴スペクトルが大きく異なることが判明した。この近藤共鳴状態のサイト依存性は、*ontop* サイトと *bridge* サイトにおける吸着構造の違いから生じる、配位子場対称性の違いを反映しており、特に *ontop* サイトでは配位子場の4回対称性から、SU(4)近藤効果と呼ばれる、珍しいタイプの近藤効果が実現していることが明らかになった。

② Pt(111)上の窒素原子超構造とその水素化 (Liang Zhu, Michael Trenary, 金孝媛, 金有洙)

白金表面における窒素原子の性質は、自動車触媒コンバーターによるNO_xの処理やアンモニアの触媒酸化による酸化窒素の工業生成など重要な触媒反応過程に関連するため、表面科学の分野において非常に興味深く重要なテーマである。原子窒素の水素化を赤外分光法、X線光電子分光、昇温脱離法で調べた結果によると、原子窒素膜は一部しか水素化されておらず、なぜ p(2x2)-N が完全に p(2x2)-NH へ変化しないのか、という疑問が解決されないままである。そこで我々は、先の報告のようにPt(111)上に原子窒素膜を形成し、低温走査トンネル顕微鏡を用いて p(2x2)-N とその水素化を調査した。

③ 金表面上のアゾベンゼン誘導体の回転に対するサイト選択性 (金孝媛, 申炯峻, 金有洙)

分子と基板間の結合状態を制御することでアゾベンゼン誘導体分子の回転運動をスイッチングする新たな方法を提唱した。走査トンネル顕微鏡による観察から、Au(111)表面に吸着したアゾベンゼン誘導体はAu(111)のホローサイトに3つの回転中心(2つのフェニル環と1つの窒素-窒素結合)が位置した場合のみ運動が起こらないことが明らかとなった。その分子に対して分子内の振動モードを励起すると、ホッピングが起こり吸着サイトが変わることで回転運動が始まる。この結果は、表面上の単分子回転体

をごく簡単な方法で制御できることを示している。

④ 界面状態のコントロールによる酸化物超薄膜の化学反応性制御 (鄭載勲, 申炯峻, 金有洙)

金属表面上に形成した酸化物超薄膜はヘテロ触媒への応用可能性から興味を集めている。我々は STM と DFT に基づく電子状態計算を用いて、Ag(100)面上の MgO 超薄膜における水分子の解離反応が MgO 薄膜の厚さに依存することを明らかにした。この結果は MgO 超薄膜と金属基盤間の接合状態が化学反応性に強く影響していることを示している。そこで接合状態の影響をより詳細に探るため、モデル系として MgO/Ag(100)界面における酸素欠陥等の欠陥が水分子の解離反応に与える影響を DFT 計算により調査した。その結果、欠陥が存在し、酸化物 - 金属界面に乱れが生じることによって MgO/Ag(100)上での解離反応性が向上することが判明した。この反応性の変化は、酸化物 - 金属界面の電子状態の変化に由来している。

⑤ 絶縁酸化物薄膜表面における単一CO分子の拡散機構の解明 (鄭載勲, 申炯峻, 南谷英美, 金有洙)

Ag(100)表面上に形成した MgO 二層膜表面上の CO 分子をターゲットとして非弾性トンネル電子の注入による拡散運動を誘起し、単一分子振動スペクトルを測定した。MgO 薄膜により、CO 分子と Ag 表面との直接的な化学結合による振動エネルギーの緩和が抑制され、分子振動の寿命が長くなり、分子内エネルギー移動が増大している可能性が示唆された。

⑥ 遷移金属酸化物の酸素欠損の制御 (湊丈俊, 金有洙)

遷移金属酸化物は、触媒、デバイスなどに応用される材料であるが、その物性は、酸素欠損などの欠陥によって制御されることが知られている。本研究では、STM 探針を用いて原子レベルでの欠陥の配列制御を行った。STM 探針からの電圧パルスを入力することにより、量論的なサイトから単一酸素原子を脱離させることに成功し、原子レベルでの酸素欠損導入に初めて成功した。さらに異なる条件の電圧パルスを加えることで、導入した酸素欠損の位置の制御にも成功し、自在に欠陥配列を制御することが可能であることを示した。

⑦ GaAs(110)表面におけるエネルギー散逸 (今田裕, 清水智子, 金有洙)

表面や界面でのエネルギー散逸は、各種デバイス (FETや太陽電池など) の発熱問題や動作効率に直結する重要な現象である。本研究の目的は、原子レベルでの測定から、表面におけるエネルギー散逸の新しい知見を得ることである。原子分解能をもつ発光測定手法である、STM発光分光を用いて、p-type GaAs(110)に電子を注入した際の発光を測定した。STM発光スペクトルのピークエネルギーが1.47 eV であることから、p-type GaAs(110)に注入された電子はバルク内部でホールと再結合して発光を起こすことが分かった。STM測定と同時測定した発光強度像には、原子レベルの細かな発光の強弱 (10% の強度差) が観測された。GaAs(110)のC3表面状態に電子を注入すると発光が弱くなるということから、C3状態に注入された電子は、10%以上の確率で非発光性再結合を起こし表面上でエネルギーを失うことが明らかになった。

⑧ Li_xCoO_2 の原子レベルでの電子状態解析 (岩谷克也, 湊丈俊, 金有洙)

Li_xCoO_2 は、リチウムイオン二次電池の正極材料として用いられる金属酸化物であるが、Liイオンの挙動については、直接観察の結果は乏しく、不明な点が多い。本研究では、 Li_xCoO_2 の単結晶上でSTM観察することで、Liイオンの原子レベルでの直接観察、電子状態測定を可能とすることを目的としている。本年度は、 Li_xCoO_2 ($x = 0.66$) の単結晶を調製 (島根大三好教授らとの共同研究) し、STMによる表面観察を行った。その結果、試料電圧が正の時のみに観測される輝点が存在し、Liイオンが原子レベルで初めて観察できたと現在考えている。さらに、Liイオンと考えられる種の原子レベルでの電子状態解析から、サイトによる電子状態の不均一性が観測され、電荷の再分配が行われている可能性が示された。今後、密度汎関数計算などからSTM像の帰属を進め、Liイオンと考えられる種の同定を進める。

2. 自己組織化有機単分子膜の構造及び電子物性の研究

① アゾベンゼン誘導体の1次元鎖と2次元膜の形成 (金孝媛, 鄭載勲, 金有洙)

バイオセンサーや分子エレクトロニクスなどの様々な応用に向け所望のナノ構造パターンを得ることは必須であり、そのために固体表面に形成された分子構造について多くの研究がなされている。所望のナノ構造を得るためには、自己組織化する分子膜のサイズと形状を制御する必要がある。しかし、現在までにそういった自己組織化のサイズや形状を制御した研究結果は報告がない。表面における分子構造は分子-基板間相互作用と水素結合やファンデルワールス力に代表される分子間の相互作用の微

妙なバランスによって決定する。そこで我々はアゾベンゼン誘導体に酸素原子を導入することで分子間相互作用を強め（水素結合）、異なるアルキル鎖を入れることでファンデルワールス力を調整するよう分子をデザインした。そしてそれらの1次元と2次元の分子の自己組織化構造を走査トンネル顕微鏡により解析した。

② **フッ化フラーレン単分子膜の超構造形成と電子状態解析**（清水智子，鄭載勲，大谷徹也，金有洙）
フッ化フラーレン（ $C_{60}F_{36}$ ）は有機分子の中でも電子親和力が大きく、有機デバイスにおけるn型半導体としての機能が期待される。Au(111)表面に均一な超構造をもつ単分子膜を形成しSTM像をDFT計算と比較することで、吸着構造と膜形成にかかわる分子-基板間の電荷移動の向きや大きさ、および分子間の静電引力の起源を同定することに成功した。またトンネル分光法（STS）により、非常に大きいエネルギーギャップをもち被占有準位はフェルミ準位に近いことが判明し、有機デバイス中の電子輸送層として機能する可能性が示唆された。

③ **2次元単分子膜内部における異方性伝導チャンネルの発見**（金柱亨，鄭載勲，金有洙）
極低温STMを用いて銀(111)、金(111)表面上の有機半導体BTDA-TCNQ単分子層の構造、及び電子状態を観測した。STMの構造観察により、両基板上でBTDA-TCNQは広範に密な超構造を形成することが分かった。この構造は分子間力と分子-基板間力の双方により形成されている。また、分子間に繋がりをもつ電子状態が確認された。これは、分子膜内における伝導チャンネルの存在を期待させる結果である。このような分子の規則配列、及び伝道チャンネルの存在は有機デバイスへの応用が大いに期待できる。

④ **Pt(111)表面上のナノグラフェンの電子状態の直接観察及び化学修飾による制御**（金孝媛，竹本整司，金有洙）
六角格子を持つ二次元物質であるグラフェンは、フェルミエネルギー付近の線形分散に由来した特徴的な電子状態を持つ。また、グラフェンを半導体デバイスとして利用するためにはディラックコーン付近にエネルギーギャップを作ることが重要である。そのための方法として、グラフェンのサイズ効果による量子干渉やグラフェンを化学修飾することが挙げられる。そこで、我々は有限サイズのグラフェンがPt(111)表面に形成した系をSTMにより観測することで、グラフェン上の定在波を確認した。定在波の起こる原因として、正バイアスでのみ定在波が現れること、Pt表面の欠陥がグラフェン上でも観測されることからPt表面状態が大きく寄与していることが分かった。また、我々はグラフェンの電子状態をコントロールするために水素化グラフェンを作成した。STMによる観測から、水素の吸着サイトの同定に成功した。

3. 光複合STM/NCAFM装置の立ち上げ（今田裕，清水智子，金有洙）

走査トンネル顕微鏡（STM）と非接触原子間力顕微鏡（NCAFM）が同時測定できる装置に、ターゲットとなる表面上の分子に光を照射、またはそれらから発せられる光を収集するシステムを構築した。まず、STMとNCAFM像および分光データが原子およびサブ分子解像度で可能なことを、Au(111)やCu(111)、NaCl(100)、さらにAu(111)上に形成したC60やC60F36分子膜を用い確認した。現在、金属上に形成した絶縁超薄膜に吸着させた分子に対し、局所構造や電子状態の変化等の光応答反応の検出に取り組んでいる。

Key Sentence :

1. Investigate electronic properties of materials at nano-scale
2. Explore single molecule chemistry
3. Develop local spectroscopy of biomolecular systems

Key Word :

Scanning probe microscopy, single-molecule chemistry, surface and interface, ultrathin metal oxide films, energy conversion, nanocarbon materials, molecular assembly

Purpose of Research :

Our research focuses on describing details of the energy transport and conversion at solid surfaces and

interfaces in the nanoscale regime. In order to understand their basic mechanisms at the individual molecule/atom level, we carry out combined study of density functional theory calculation and scanning probe microscopy/spectroscopy on the well-defined solid surfaces under ultra-high vacuum conditions. Part of our research is directed toward investigation of single-molecule chemistry by the use of vibrational and electronic quantum states on metal or metal oxide thin-film surfaces. Another important part of our research focuses on self-assembled organic thin films aiming at understanding their microscopic structure and electronic properties, and their use as templates for the development of molecular-based functional materials. In addition, we have investigated local electronic structures of carbon nanotubes and nano graphenes on metal electrode surfaces and tuning their electronic properties by chemical modification. Recently, we have also started working on photon detection from a single molecule and on atomic scale investigation of energy conversion between electrons and photons of nanometer scale materials.

1. Single molecule chemistry at the surfaces of metals and metal oxides

① Kondo effect in Fe-phthalocyanine molecule on Au(111) (Emi Minamitani, Yousoo Kim)

The Kondo effect is one of the universal many-body effects arising from the interaction between the localized spin and itinerant electrons. The existence of the Kondo effect has been observed in various systems. Recently, scanning tunneling spectroscopy observations have revealed that the magnetic molecules placed on metal surfaces are also the candidate of the Kondo system. The electronic states in molecules are strongly affected by the ligand-field symmetry. Thus, it is expected that we can control the Kondo effect by tuning the ligand-field in molecular Kondo system. We found that FePc adsorbs at ontop or bridge site on Au(111) and Kondo resonances in FePc molecule differs in each adsorption sites. This site specificity of the Kondo resonance originates in the discrepancy of ligand-field symmetry in ontop and bridge configuration. In particular, the novel type of Kondo effect, SU(4) Kondo effect is realized in ontop configuration.

② Nitrogen atom superstructure and hydrogenation on the Pt(111) (Liang Zhu, Michael Trenary, Hyo Won Kim, Yousoo Kim)

The properties of nitrogen atom on a platinum surface are of great interest and importance in surface science as they are relevant to several important catalytic processes, such as NO_x reduction by automotive catalytic converters and industrial synthesis of nitric oxide through the catalytic oxidation of ammonia. Studies on the hydrogenation properties of atomic nitrogen using RAIRS, XPS and TPD indicate that only a fraction of the nitrogen layer can be hydrogenated. The puzzle that the p(2X2)-N overlayer cannot be completely converted to a p(2X2)-NH overlayer remains unsolved. Therefore with the procedures provided by previous studies, we produced a well-ordered overlayer of atomic nitrogen on Pt(111) and investigated the surface structure of p(2X2)-N and hydrogenation of it with low temperature scanning tunneling microscopy.

③ Site-selective rotation of azobenzene derivatives (Hyo Won Kim, Hyung-Joon Shin, Yousoo Kim)

We demonstrated a new method to switch on and off the rotational motion of an azobenzene derivative molecule by controlling the bonding geometry between the molecule and a substrate. An azobenzene derivative molecule adsorbed on a Au(111) surface is immobile only when its three rotation centers, comprised of two phenyl rings and a nitrogen-nitrogen bond, are located at hollow sites of the Au(111) surface, as observed by scanning tunneling microscopy. Rotational motion can be activated by inducing hopping motion away from the immobile site by exciting vibrational modes within a molecule. Our results suggest that this is the simplest way to control a single molecular rotor on a surface.

④ Controlling chemical reactivity of ultrathin oxide film by interface manipulation (Jaehoon Jung, Hyung-Joon Shin, Yousoo Kim)

Ultrathin oxide films grown on metal substrate are of great interest as heterogeneous catalyst. Using scanning tunneling microscopy (STM) and density functional theory (DFT) calculations, we have demonstrated that the chemical reactivity for water dissociation on an ultrathin MgO film grown on Ag(100) substrate depends on film thickness and is enhanced as compared to that achieved with their bulk counterpart.¹ Because the change of chemical reactivity of ultrathin MgO film strongly depends on the adhesion at oxide-metal interface, we have examined water dissociation on model systems with defects at the oxide-metal interface of the MgO/Ag(100), such as O vacancy, using DFT calculations.² Our results clearly show that such structural imperfections at the interface can improve the chemical reactivity of ultrathin MgO film supported by Ag(100) substrate. This is closely correlated with the change in electronic structure at the oxide-metal interface. Our study suggests new

concept to control the chemical reactivity of an ultrathin oxide film as a catalyst.

⑤ **Single-molecule dynamics of ultrathin oxide film (Jaehoon Jung, Hyung-Joon Shin, Emi Minamitani, Yousoo Kim)**

By injecting tunneling electrons into the adsorbed molecules, we have achieved controlled manipulation and measurement of vibrational spectroscopy of individual CO molecules on ultrathin MgO film formed on Ag(100). Our results clearly show that molecular vibration excited by tunneling electrons can effectively couple with phonon modes of MgO film surface due to the long vibrational lifetime comparing with metal surface making vibrationally excited state dissipated very rapidly by creating electron-hole pair.

⑥ **Atomic control of defect on transition metal oxide (Taketoshi Minato, Yousoo Kim)**

Physical and chemical properties of transition metal oxides are controlled by the aliments of the atomic defects (oxygen vacancy, hydroxyls and interstitial metals etc.). However, the control of the aliment in atomic scale is not achieved yet. In this work, we have succeeded to create a single oxygen vacancy, most common defect in metal oxides, on titanium dioxide surface by applying a voltage pulse from an STM tip for the first time. Also, we have manipulated position of the oxygen vacancy by applying voltage pulse in different condition. This clearly shows that atomic control of the aliment of the atomic defect on transition metal oxide is possible and will be developed to create new physical and chemical properties.

⑦ **Investigation of electronic structure of Li_xCoO_2 (Katsuya Iwaya, Taketoshi Minato, Yousoo Kim)**

Li_xCoO_2 is widely used as a anode material of lithium second batteries, however the physical properties of lithium ions in Li_xCoO_2 are not well understood because the direct observation of lithium ions are not successful so far. In this work, we have prepared a single crystal of Li_xCoO_2 (by the collaboration with Prof. Miyoshi of Shimane Univ.) and applied STM to observe the electronic structure. This year, we have succeed to obtain atomically resolved STM images on a single crystal of Li_xCoO_2 and found that there are bright features in the STM image which is only observed in positive sample bias. We think they are the lithium ions and found the redistribution of charges in lithium ions by the studying of the electronic structure of the lithium ions.

⑧ **Energy dissipation on GaAs(110) surface (Hiroshi Imada, Tomoko Shimizu, Yousoo Kim)**

Energy dissipation on surfaces or at interfaces degrades the performance of devices such as solar cell, field effect transistor and so on. The purpose of this study is to obtain novel insights into the energy dissipation on GaAs(110) surface from atomic level light emission measurements using a technique, scanning tunneling luminescence. Intense light emission whose peak energy being 1.47 eV was observed upon electron injection from an STM tip to p-type GaAs(110). It indicates that the light emission occurs by the recombination of the injected electron with the hole inside the p-type sample (bulk band edge transition). Photon intensity maps which were measured simultaneously with STM topographic images show atomically fine distributions. A reduced intensity was observed when the electrons were injected mainly into C3 surface state of GaAs(110). It is 10 % weaker than that of the most intensive spot where the electrons were injected mainly into the bulk conduction band. This means that the electrons in C3 surface state lose their energy on the surface with a probability of more than 10 %.

2. Fabrication of low-dimensional molecular structure

① **1-D chain and 2-D layer formation of azobenzene derivatives (Hyo Won Kim, Jaehoon Jung, Yousoo Kim)**

Due to its high electron affinity, fluorinated fullerene ($\text{C}_{60}\text{F}_{36}$) is expected to behave as an n-type semiconductor in organic devices. We have successfully fabricate its monolayer on Au(111) with a homogeneous superstructure. Comparison of STM images with DFT calculations, we determined adsorption structure and interactions that are involved in the superstructure formation, including direction and degree of charge transfer between molecule and substrate, and origin of electrostatic intermolecular interaction. In addition, spectroscopic investigation revealed that the monolayer possessed a wide band-gap with the lowest unoccupied state close to the Fermi level, which implies potential application to the electron transport layer in organic optoelectronic devices.

② **Superstructure formation and electronic states of fluorinated fullerene monolayer (Tomoko Shimizu, Jaehoon Jung, Tetsuya Otani, Yousoo Kim)**

Due to its high electron affinity, fluorinated fullerene ($C_{60}F_{36}$) is expected to behave as an n-type semiconductor in organic devices. We have successfully fabricate its monolayer on Au(111) with a homogeneous superstructure. Comparison of STM images with DFT calculations, we determined adsorption structure and interactions that are involved in the superstructure formation, including direction and degree of charge transfer between molecule and substrate, and origin of electrostatic intermolecular interaction. In addition, spectroscopic investigation revealed that the monolayer possessed a wide band-gap with the lowest unoccupied state close to the Fermi level, which implies potential application to the electron transport layer in organic optoelectronic devices.

③ **Anisotropic conducting channel in a 2D monolayer of BTDA-TCNQ (Ju-Hyung Kim, Miyabi Imai, Jaehoon Jung, Yousoo Kim)**

Using STM measurement and DFT calculation, we found that the BTDA-TCNQ constructs a well-ordered monolayer film on Ag(111) and Au(111). The single crystal is constructed by both intermolecular interaction and molecule-substrate interaction. In addition, using dI/dV mapping, we found evidence of intermolecular connection between electron states in a particular energy range, which may represent a key to realize a conduction channel for charge carriers in the film. Well-ordered molecular alignment and the existence of conducting channel are expected to be applied for organic devices.

④ **Investigating and controlling electronic structure of nano graphene on Pt(111) (Hyo Won Kim, Seiji Takemoto, Yousoo Kim)**

Graphene, a single atomic layer of graphite with an sp² bond structure, is fascinating two-dimensional (2D) material because its electron transport characteristics differ from other 2D electronic systems due to the linear energy dispersion relation around the charge neutral point in the electronic band structure. An important issue in the use of graphene as a channel material for electronic devices is increasing the band gap. Although graphene is a gapless semiconductor, there are methods for controlling band gap, such as size effect and chemical modification. We observed the standing wave in nano-graphene adsorbed on a Pt (111) surface using Scanning Tunneling Microscopy (STM). The Pt surface state affects to origin of standing wave, because of, the wave is observed at positive sample bias and defects of Pt surface are observed on graphene. Also, we made hydrogenated Grphene adsorbed on Pt(111) for controlling electronic structure of graphene. We succeeded at confirming the adsorption site of hydrogen on graphene.

3. Setup of an STM-NCAFM combined with photon in/our system (Hiroshi Imada, Tomoko Shimizu, Yousoo Kim)

We have setup a microscope that is capable of simultaneously conducting scanning tunneling microscopy (STM) and non-contact atomic force microscopy (NCAFM) while irradiating photons to or collecting photons from the targeted molecules on the surface. We first showed STM and NCAFM images and spectroscopic data at the atomic and sub-molecular resolution using various samples including Au(111), Cu(111), NaCl(100), C_{60} and $C_{60}F_{36}$ layers on Au(111). We are currently working on detection of photon-induced phenomena such as change in structure and/or electronic states for molecules deposited on ultra-thin insulating film on metals.

Principal Investigator

金 有洙 Yousoo Kim

Research Staff

清水 智子 Tomoko Shimizu

今田 裕 Hiroshi Imada

南谷 英美 Emi Minamitani

鄭 載勳 Jaehoon Jung

Students

金 柱亨 Ju-Hyung Kim

竹本 整司 Seiji Takemoto

朱 丽萍 Liping Zhu

梁 賢眞 Hyun Jin Yang

今井みやび Miyabi Imai

野口 卓也 Takuya Noguchi

金 允洙 Taesoo Kim

朴 嫻延 Juyeon Park

大山令生綱一郎 Leokoichiro Oyama

梁 竹 Zhu Liang

Technical Staff

David Wayne Chapmon

Assistant and Part-timer

清水 佳子 Yoshiko Shimizu

矢崎 弥栄子 Yaeko Yazaki

Visiting Members

湊 丈俊 Taketoshi Minato

Michael Trenary

Sylvain Clair

栄長 泰明 Yasuaki Einaga

宗像 利明 Toshiaki Munakata

岩谷 克也 Katsuya Iwaya

渡辺 剛志 Takeshi Watanabe

本林 健太 Kenta Motobayashi