浮上式鉄道用 RE 系高温超電導磁石の開発

—冷凍機冷却を考慮したコイル製作—

水野 克俊^{*,†}, 小方 正文^{*}, 長谷川 均^{*}

Development of a REBCO HTS Magnet for the Maglev — Production of a Cryocooler-cooled Coil —

Katsutoshi MIZUNO^{*,†}, Masafumi OGATA^{*} and Hitoshi HASEGAWA^{*}

Synopsis: The REBCO-coated conductor is one of the promising technologies for Maglev application in terms of its high operating temperature. Since REBCO coils are directly cooled using cryocoolers, liquid helium is unnecessary. However, the coil structure must be optimized for efficient conduction cooling. We propose a novel REBCO coil structure that has high thermal conductivity and eliminates the delamination due to epoxy impregnation. A REBCO coil is wound with the coated conductor and a polytetrafluoroethylene (PTFE) tape for insulation. The coil winding is then impregnated with epoxy resin. At the same time as the impregnation, heat transfer members (e.g., copper plates) are bonded to the top and bottom surfaces of the coil winding. This paper contains three topics. First one is the thermal resistance measurements of the impregnation materials. It was observed that thermal stress increases the thermal resistances of paraffin wax and cyanoacrylate resin. It is believed that impregnation materials with high adhesiveness are appropriate for cryocooler-cooled coils. Second is demonstration of the novel coil structure. The third topic is the experimental production of a REBCO coil that has a congruent racetrack shape like that of the Maglev onboard magnet. It was confirmed that the novel coil structure eliminates degradation of the full-scale racetrack REBCO coil.

Keywords: Maglev, REBCO coil, PTFE tape, epoxy impregnation, thermal resistance

(Some figures in this article may appear in colour only in the electronic version)

1. はじめに

鉄道総合技術研究所では、磁気浮上式鉄道用車載磁石への希土類 (RE) 系高温超電導線材 (以下, REBCO 線材) の適用を検討している。REBCO 線材を車載磁石に用いれば、運用温度を 40~50 K 程度まで引き上げることができる見込みがあり、冷凍機消費電力の低減と冷凍機のための車載電源設備の小型・軽量化が可能になる¹⁾。このような運用温度では、超電導コイルは液体ヘリウムを介さず冷凍機によって直接冷却されるので、超電導コイルをはじめとする超電導磁石の構造も再検討する必要がある。

また、REBCO コイルにおいては、エポキシ含浸による

劣化の問題があったものの²⁾、劣化のない REBCO コイル構造はすでに多数報告されている³⁻⁵⁾。ただし、浮上式鉄道のような過酷な環境下での使用に適したコイル構造は未だ明らかになっていない。そこで、著者らは含浸による劣化や伝導冷却、浮上式鉄道特有の振動条件まで考慮した新規コイル構造の検証を進めている。本研究の方針としては、まず冷却時の熱応力によって伝熱経路が失われることのないコイル冷却構造を開発し、その次の段階として浮上式鉄道を想定した加振試験を予定している。

本稿では、一例ではあるものの、含浸材料と熱抵抗の関係を示す。次に、劣化の回避と伝導冷却の両立を目的として開発した PTFE (polytetrafluoroethylene) テープとエポキシ含浸を用いたコイル構造について述べる。また、加振試験に向けた実機大のレーストラックコイル試作についても報告する⁶⁾。

* Received October 15, 2014

(公財) 鉄道総合技術研究所

〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38

Railway Technical Research Institute,

2-8-38 Hikari-cho, Kokubunji, Tokyo 185-8540, Japan

† E-mail: mizuno.katsutoshi.14@rtri.or.jp

DOI : 10.2221/jcsj.50.118

2. 含浸材料熱抵抗評価試験

2.1 試験方法

超電導コイルの含浸材料としては、エポキシ樹脂やパラフィンが一般的に用いられている。これらの含浸材料が超電導コイルの伝熱経路として機能するかを確かめるため、室温および極低温における含浸材料の熱抵抗評価試験を実施した。評価サンプルにはエポキシ樹脂 (Emerson & Cuming, Stycast 1266)、パラフィン (JX 日鉱日石: パラフィンワックス, 融点 125°F)、およびシアノアクリレート樹脂 (セメダイン: 3000RX) の三種類を用意した。シアノアクリレート樹脂は瞬間接着剤として知られている樹脂であり、極低温における接着強度がエポキシ樹脂よりも低い特徴がある⁷⁾。

供試体は、Fig. 1 に示すように二枚の無酸素銅と含浸材料からなる。銅板の向かい合う面積は 50 mm×50 mm であり、銅板間の隙間を樹脂ボルトによって固定し、その隙間に含浸材料を流し込んで製作した。ここで樹脂ボルトを選定したのは、熱伝導率が低い上に、剛性も金属製のものと比較すると低く、試験結果に与える影響を最小限にするためである。なお、このときの銅板間の隙間は 0.5 mm とした。これはケースに収められたコイルを含浸する場合を想定しており、含浸材料の流動のために必要な隙間を 0.5 mm と仮定したためである。いずれの含浸材料においても、硬化前に真空脱泡を実施している。エポキシ樹脂については、真空脱泡後、硬化のため大気圧 60 °C の条件で約 2 時間加熱し、パラフィンとシアノアクリレート樹脂においては真空脱泡後、大気圧下で室温硬化させた。

銅板表面は機械加工されたままの状態、エタノールによる脱脂以外は実施していない。そのため、銅板と含浸材料の接触面は含浸材料自体の接着性に依存している。含浸材料の熱伝導率によらず、銅板と含浸材料の界面が剥離してしまえば、接触熱抵抗の大幅な増加を招き伝熱経路として機能しなくなる可能性もある。

片側の銅板にフィルムヒーターを取付け、銅板間の温度差が 1 K 程度になるように熱負荷を与えてやり、このときの銅板上下の温度差より熱抵抗を求めた。評価温度条件は、

Fig. 1 Test specimen for the thermal resistance measurements of impregnation materials.

室温 (約 300 K)、10 K、20K、30 K、40 K、50 K および 77 K とし、室温条件から 10 K まで冷却した後、温度を段階的に上げていき、再度室温に昇温して熱抵抗の測定を実施した。供試体の冷却には GM 冷凍機を用いており、室温での測定時もガス伝導の影響をなくするため真空容器内で測定している。

2.2 試験結果

得られた熱抵抗と温度の関係を Fig. 2 に、各供試体の冷却後の拡大写真を Fig. 3 に示す。エポキシ樹脂においては Fig. 2 (a) からわかるように、室温から低温まで熱抵抗は

(a) Epoxy resin

(b) Paraffin

(c) Cyanoacrylate

Fig. 2 Temperature dependencies of the thermal resistances of the impregnation materials.

(a) Epoxy resin

(b) Paraffin

(c) Cyanoacrylate

Fig. 3 Close-up side views of the test specimens.

なだらかに変化している。室温における熱抵抗は冷却を経験した後でも変化しておらず、Fig. 3 (a) の拡大写真においても異常は確認されない。接触熱抵抗が十分に小さいと仮定して、熱伝導率を求めると約 0.2 W/mK であり、これは報告されている Stycast 1266 の熱伝導率とよく一致している⁸⁾。これらのことから、エポキシ樹脂と銅板は隙間なく接着されており、尚且つ熱応力によって熱抵抗が増加することがなかったと考えられる。

パラフィンにおいては、冷却経験前の室温における熱抵抗はエポキシ樹脂と近い値を示しているものの、 77 K 以下では非常に高い熱抵抗を示しており、昇温後も高い値を維持したままであった。Fig. 3 (b) の拡大写真を見ると、無数のクラックが発生しており、パラフィンが粒界状になっていることがわかる。これらのことから、パラフィンは冷却時の熱応力によって銅板との熱的な接合の大部分が失われてしまったと考えられる。

Fig.2 (c) に示すシアノアクリレート樹脂においても、熱抵抗が明確に増加している。また、パラフィンほど顕著ではないものの、Fig.3 (c) のシアノアクリレート樹脂拡大写真にも縦方向に複数のクラックが確認できる。そのため、シアノアクリレート樹脂も熱応力によって接触熱抵抗が増加してしまい、伝熱経路としては十分に機能していないと考えるのが妥当である。

3. PTFE テープとエポキシ含浸を用いたコイル構造

3.1 伝導冷却と劣化防止の両立

第2章で示した含浸材料の熱抵抗試験は一例であり、銅板間のギャップや含浸材料との接触面積、あるいは板の材質・表面状態など種々の要因が結果に影響することは十分にあり得る。しかしながら、熱収縮率の差から接着界面に応力が働くのは明白であり、今回の試験結果からも接着性が低い含浸材料ほど熱応力によって伝熱経路が失われるリスクが高いと予測される。特に磁気浮上式鉄道用車載磁石では、熱応力に加えて走行振動も経験するので層間剥離の可能性がより高くなり、エポキシ樹脂に代表されるような接着性の高い含浸材料ほど適していると考えられる。

その一方で、含浸材料の接着強度が REBCO 線材の剥離強度を上回れば線材剥離の危険性がある。熱応力を制御して劣化を防ぎつつ、且つコイルと冷却部材との樹脂による接合を行った例は宮崎ら⁹⁾によって既に報告されている。ただし、本研究の目標とする浮上式鉄道応用においては、熱応力だけでなく走行振動やレーストラック形状に由来する曲げ応力も経験する。加えて、線材の剥離応力に関しては多数報告があるものの、試験方法ごとに結果は大きく異なっている¹⁰⁻¹³⁾。これらの状況を考慮して、線材剥離のリスクを最小限にするには、コイルターン間を完全に離間させることが最も確実であると考えた。

そこで、REBCO コイル内の箇所ごとに含浸材料による接着性をコントロールする設計思想を採用した。Fig. 4 に示すように、パンケーキコイルにおいて、コイル側面は強固に冷却部材と接着しつつも、線材剥離の原因となるコイルターン間は接着させない構造となっている。なお、同様の設計思想は、特許文献で報告されている¹⁴⁾ものの、我々はこれを実現するために PTFE (テフロン) テープとエポキシ含浸を応用した。コイルターン間を離間させる手段として、エポキシに対して難接着性の材料 (ポリプロピレン、テフロン等) をターン間絶縁材に用いる手法はすでに報告されている^{15, 16)}。絶縁テープがラップ巻ではなく共巻きであれば、ターン間を離間しつつもコイル側面はテフロンに覆われず、エポキシ含浸によって冷却部材との強固な接合も同時に可能になると考えた。

Fig. 4 Cross-section drawing of a novel REBCO coil structure. Only the side surface of the pancake coil is bonded to heat transfer members.

Table 1 Specifications of the test REBCO coils

Coated conductor	SuperPower Inc. SCS4050-AP
Coated conductor length	7 m
Insulation tape material	PTFE or polyimide
Thickness of insulation tape	25 μm
Former material	GFRP (G10)
Heat transfer member	Copper (OFHC)
Number of turns	40
Inner/outer diameter	50 mm/ 60 mm
Epoxy resin for impregnation	Emerson & Cuming, Staycast 1266

Fig. 5 Picture of the epoxy-impregnated test REBCO coil with copper rings.

3.2 検証用小型コイル製作

PTFE テープ共巻きコイル構造が、伝導冷却および線材剥離の回避という二つの観点から機能することを実証するため、検証用小型 REBCO コイルを製作した。コイル巻線内径は $\phi 50$ mm、巻き数は 40 ターンとし、コイルの上下面には、冷却部材を想定した無酸素銅板が取り付けられている。なお、銅板には絶縁のためカプトンフィルムが熱可塑性樹脂によって貼りつけられている。巻線はドライで行われ、巻線時の張力は 45 N とした。エポキシ含浸には Staycast 1266 を用いており、真空脱泡を実施したのち、硬化のため大気圧 60°C の条件で約 2 時間加熱した。なお、比較のため、層間絶縁材を PTFE テープおよびポリイミド

Table 2 Thermal resistances of the test coils before and after cooling down

	PTFE coil	Polyimide coil
Thermal resistance before cooling down [K/W]	1.97	1.90
Thermal resistance after cooling down [K/W]	2.07	1.97

テープとしてそれぞれコイルを製作した。検証用小型コイル仕様を **Table 1** に、外観写真を **Fig. 5** に示す。

3.3 検証用小型コイルを用いた比較試験

検証用小型コイルを用いた比較試験の手順としては、はじめにエポキシ含浸前の I-V 特性を液体窒素中で評価しておき、室温での熱抵抗を測定後、冷凍機による 10 K までの冷却を経験させて再度室温での熱抵抗を測定した。最後に、含浸による劣化の有無を液体窒素中での通電で確認した。

熱抵抗の評価としては、コイル上部からヒーターで熱を与えてやり、コイル軸方向の熱抵抗を測定した。また、測定はガス伝導の影響を取り除くため真空容器中で実施した。冷却を経験することによりコイルと伝熱部材の熱接触が失われれば、含浸材料の熱抵抗試験時と同様に、不可逆な熱抵抗の増加が確認されると予測される。PTFE テープ共巻きコイルとポリイミド共巻きコイルの冷却経験前後での室温での熱抵抗測定結果を **Table 2** にまとめる。

なお、コイルを構成する線材やエポキシ樹脂、巻枠などの各種材料の熱伝導率からコイル軸方向の熱抵抗を予測することは可能であり、エポキシ樹脂と冷却部材の接触熱抵抗が十分小さいと仮定すると、約 1.9 K/W となる。PTFE テープ共巻きコイル、ポリイミド共巻きコイルいずれにおいても、予測される熱抵抗と近い値を示しており、含浸によってコイル巻線部と冷却部材は十分な面積が接着されていると考えられる。冷却経験後も、両コイルの熱抵抗はほぼ変化しておらず、コイルと冷却部材の熱的な接触は保たれている結果となった。

Fig. 6 I-V Characteristics of the REBCO coil co-wound with PTFE tape at 77 K.

Fig. 7 I-V Characteristics of the REBCO coil co-wound with polyimide tape at 77 K.

次に両コイルのエポキシ含浸前後での I-V 特性を **Fig. 6, 7** に示す。ここでは臨界電流を 0.7 mV (1 μ V/cm) と定義し、n 値はコイル電圧 10 μ V~0.7 mV の区間で算出した。PTFE テープ共巻きコイルにおいては、含浸後に冷却-通電サイクルを二度繰り返したが、**Fig. 6** に示すように臨界電流は 58 A でほぼ一定であり、n 値も 27 から変化はなく、線材剥離による劣化は確認できなかった。

一方でポリイミド共巻きコイルにおいては、含浸後一度目の通電の時点で臨界電流は 57 A から 20 A に、n 値も 25 から 4 と明確に減少しており、エポキシ含浸に由来する線材剥離が発生したと考えられる。

4. 実機大レーストラックコイル

4.1 実機大レーストラックコイル試作

PTFE テープ共巻き REBCO コイル構造がコイルの形状に寄らず機能することを確認するため、レーストラック形状のコイルの試作も行った。試作コイルのため使用線材長は 200 m であり起磁力は実機には及ばないながらも、レーストラック形状は長辺方向で 1070 mm、短辺方向で 500 mm と磁気浮上式鉄道用車載超電導磁石と等しい。機械加振試験の供試体に用いることを念頭に置いており、このような実スケールでの制作とした。製作手順としては、コイルケースを兼ねた GFRP 製巻枠に PTFE テープと共巻き、巻線後にコイルケースをくみ上げた状態でエポキシ含浸を実施した。そのため、コイル巻線と GFRP 製のコイルケースはエポキシ含浸によって強固に接着されている。実機大レーストラックコイルの仕様を **Table 3** に、コイル外観を **Fig. 8** に示す。

熱収縮率の違いによる変形を避けるため、コイルケースは GFRP 単一材料からなる単純な構成とした。将来的には熱収縮率の違いも考慮しつつ、部分的に無酸素銅を用いるなどして冷却性を向上させたレーストラックコイルを製作予定である。

Table 3 Specifications of the racetrack REBCO coil

Type of coated conductor	SuperPower Inc. SCS6050-AP
Coated conductor length	200 m
Insulator material	PTFE tape
Thickness of insulator	25 μ m
Number of turns	72
Inside diameter	Coil case: 450 mm, winding: 490 mm
Outside diameter	Coil case: 550 mm, winding: 510 mm
Straight section length	570 mm
Coil case material	GFRP (G10)

Fig. 8 Picture of the experimentally produced racetrack coil in an insulating container.

Fig. 9 I-V Characteristics of the racetrack REBCO coil at 77 K before and after epoxy impregnation.

4.2 実機大レーストラックコイル通電試験

試作したレーストラックコイルの健全性を確認するため、エポキシ含浸の前後で液体窒素中での通電試験を実施した。断熱容器にコイルを設置した状態で直接窒素を注液しており、熱応力緩和のために冷却速度を制御するようなことは行っていない。試験結果を **Fig. 9** に示す。

レーストラック形状のため曲線部最内周付近において磁束密度が局所的に高くなり、臨界電流近傍では局所的な発熱

が起きることが予想される。これらの事項に加えて、製作したコイルは伝導冷却による通電試験および極低温下加振試験も計画しており、コイル焼損等のリスクを確実に避けるため、明確な電流の立ち上がりが確認できた段階で通電を中止した。

エポキシ含浸後は冷却-通電サイクルを2度実施したものの、コイル電圧の立ち上がり傾向はいずれも含浸前とよく一致している。このことから、実機大のレーストラック形状を有する REBCO コイルにおいても、PTFE テープによって線材剥離が回避されたものと考えられる。

コイル形状が大型のため、検証用小型コイルのように直接的に熱抵抗を測定することは困難であるものの、今後は伝導冷却による通電試験も予定しており、コイル電圧発生時の熱的安定性も評価していく考えである。

5. まとめ

REBCO コイルを浮上式鉄道に应用できれば運用温度の向上から液体ヘリウムを用いない磁石運用や冷凍機消費電力の低減が可能になる。しかしながら、浮上式鉄道においては振動環境での運用のため、信頼性の高い冷却構造や振動に耐えるだけの機械剛性が不可欠である。浮上式鉄道用 REBCO 磁石の実現に向けた第一歩として、含浸による劣化の回避と冷却時の熱応力に耐える伝熱経路を両立すべく、REBCO コイル内の箇所ごとに含浸材料による接着性をコントロールする設計思想に基づいたコイル構造を考案し、加振試験に向けた実機大のレーストラックコイルを試作した。

我々の開発したコイル構造はエポキシ樹脂に対して難接着である PTFE テープを REBCO 線材と共巻してターン間を離間させつつ、エポキシ含浸によってコイル側面のみを冷却部材と強固に接着するというものである。このコイル構造の有用性を実証すべく要素試験及びコイル試作を行い、以下の結論を得た。

1. コイル含浸材料の熱抵抗試験を実施したところ、パラフィン及びシアノアクリレート樹脂の供試体では冷却時に顕著な熱抵抗の増加が確認された。昇温後も高い熱抵抗を保持しており、含浸材料にクラック等の欠陥が発生して熱的な接触の大部分が失われていると考えられる。エポキシ樹脂の供試体のみ冷却前後でも熱抵抗は変化しておらず、接着性の低い樹脂ほど冷却時の熱応力によって熱抵抗が増加する危険性が高いことを示唆している。
2. エポキシ含浸された小型円形コイルを用いた熱抵抗試験では、共巻絶縁材が PTFE テープ、あるいはポリイミドテープいずれであっても冷却による熱抵抗の増加は確認されなかった。その一方で、ポリイミドテープ共巻コイルでのみエポキシ含浸による明確な通電性能低下が発生した。小型円形コイルにおいては PTFE

テープ共巻とすることによって、エポキシ含浸による劣化が発生しないだけでなく、冷却部材と強固に接着された構造を実現することができた。

3. 浮上式鉄道用車載超電導磁石と同じレーストラック形状を有する試作 REBCO コイルにおいても、PTFE テープ共巻構造によりエポキシ含浸による劣化を防げることが確認された。

今回の試験検証から劣化の回避と冷却時熱応力に耐えるコイル構造は達成の見通しが立ったため、今後は製作したレーストラックコイルを対象に浮上式鉄道を想定した機械加振を行う計画である。

本研究は国土交通省の国庫補助金を受けて実施した。

参 考 文 献

- 1) K. Nagashima, et al.: "Experimental investigation of high-temperature superconducting magnet for Maglev," Proceedings of the 21st International Conference on Magnetically Levitated Systems and Linear Drives (MAGLEV 2011) VLG-04
- 2) T. Takematsu, et al.: "Degradation of the performance of a YBCO-coated conductor double pancake coil due to epoxy impregnation," Physica C 470 (2010) 674-677
- 3) M. Oomen, et al.: "Manufacturing and test of 2G-HTS coils for rotating machines: Challenges, conductor requirements, realization," Physica C 482 (2012) 111-118
- 4) Y. Yanagisawa, et al.: "Removal of degradation of the performance of an epoxy impregnated YBCO-coated conductor double pancake coil by using a polyimide-electrodeposited YBCO-coated conductor," Physica C 476 (2012) 19-22
- 5) H. Miyazaki, et al.: "Degradation-Free Impregnated YBCO Pancake Coils by Decreasing Radial Stress in the Windings and Method for Evaluating Delamination Strength of YBCO-Coated Conductors," IEEE Trans. Appl. Supercond. 24-3 (2014) 4600905
- 6) K. Mizuno, M. Ogata and H. Hasegawa: "Manufacturing of REBCO coils strongly bonded to cooling members with epoxy resin aimed at its application to Maglev," Physica C 506 (2014) 138-142
- 7) K. Mizuno, M. Ogata and K. Nagashima: "Fabrication of 5 T magnet using 2G wires directed at Maglev application," IEEE Trans. Appl. Supercond. 23-3 (2013) 3600104
- 8) D.H. Tien, et al.: "Electrical and thermal conductivities of stycast 1266 epoxy/graphite composites," J. Korean Phys. Soc. 59-4 (2011) 2760-2764
- 9) H. Miyazaki, et al.: "Development of conduction-cooled REBCO superconducting coils investigation of thermal runaway currents and mechanical properties of impregnated single-pancake coils," TEION KOGAKU 48 (2013) 239-246
宮崎寛史ら:「RE 系超電導伝導冷却コイルの開発—シングルパンケーキ含浸コイルの熱暴走および機械特性の評価と解析—」, 低温工学 48 (2013) 239-246
- 10) Y. Yanagisawa, et al.: "Remarkable weakness against cleavage stress for YBCO-coated conductors and its effect on the YBCO coil performance," Physica C 471 (2011) 480-485

- 11) Y. Zhang, et al.: “Adhesion strength study of IBAD–MOCVD-based 2G HTS wire using a peel test,” *Physica C* **473** (2012) 41-47
- 12) D.C. van der Laan, J.W. Ekin, C.C. Clickner and T.C. Stauffer: “Delamination strength of YBCO coated conductors under transverse tensile stress,” *Supercond. Sci. Technol.* **20** (2007) 765-770.
- 13) S. Fujita, et al.: “Evaluation of rare-earth-based cated couductors – mechanical, delamination and in-field critical current properties–,” *TEION KOGAKU* **48** (2013) 172-177
藤田真司ら：「RE 系超電導線材の特性評価—機械特性・剥離特性・磁場中臨界電流特性—」, 低温工学 **48** (2013) 172-177
- 14) 戸坂泰造ら：「高温超電導パンケーキコイルおよび高温超電導コイル」, 特開 2010-267887 (2010)
- 15) S. Yokoyama and T. Imura: “Evaluation of a superconducting coil with polypropylene insulated ReBCO coated conductors,” *Abstracts of CSSJ Conference* **87** (2013) 2
横山彰一, 井村武志：「ポリプロピレン絶縁 Y 系超電導線を用いたコイルの評価」, 第 87 回 2013 年度春季低温工学・超電導学会講演概要集 (2013) 2
- 16) 田崎賢司ら：「高温超電導コイルおよびその製造方法」, 特開 2012-33947 (2012)

水 野 克 俊 1984 年 5 月 9 日生。2009 年東京工業大学総合理工学研究科創造エネルギー専攻修了。同年（財）鉄道総合技術研究所勤務。主として磁気浮上式鉄道用超電導磁石の開発に従事。低温工学・超電導学会、電気学会会員。

小 方 正 文 1965 年 4 月 10 日生。1990 年東北大学理学部物理学科卒業。1992 年同大学院理学研究科物理学第二専攻修了。同年（財）鉄道総合技術研究所勤務。主に磁気浮上式鉄道用超電導磁石の開発に従事。博士(工学)。低温工学・超電導学会会員。

長 谷 川 均 1968 年 10 月 28 日生。1991 年早稲田大学理工学部電気工学科卒業。1993 年同大学院理工学研究科修了。同年（財）鉄道総合技術研究所勤務。主に浮上式鉄道の車上電源開発に従事。博士(工学)。低温工学・超電導学会会員、電気学会上級会員。