耐火集成材と鉄骨部材接合部の耐火性能

FIRE-RESISTANCE PERFORMANCE OF JOINT PART BETWEEN FIRE-PREVENTIVE GLUED LAMINATED TIMBER AND STEEL MEMBER

抱 憲誓 ——— * 1 佐々木直幸 ——— * 2
宮本圭一 ——— * 3 西村光太 ——— * 4

Norichika KAKAE ——— * 1 Naoyuki SASAKI ——— * 2
Keiichi MIYAMOTO ——— * 3 Kouta NISHIMURA ——— * 4

キーワード：
耐火集成材, 柱, 梁, スギ, 鉄骨部材, 接合部

Keywords:
Fire-preventive glued laminated timber, Column, Beam, Cedar, Steel member, Joint part

The Japanese government is promoting use of wood in recent years, because of the environmental provision of carbon dioxide fixation. The authors developed “FR wood”. “FR wood” is the only technique with simply use one tree species in Japan. When considering actual application, it is necessary to verify the fire-safety of joint parts in addition to the development of member. In particular, verification of the joint with the steel frame member is important. So, the specimens of the joint part were constructed and fire resistance test was conducted. The resistance performance of steel members and wood members was confirmed.

1. はじめに

国内では、森林資源の有効活用や炭素固定化によるCO₂削減などを目的として木材利用が促進されている。建築分野でも、内装材や構造物への木材利用が進んでいる。しかし、防火地域や準防火地域では、建物規模が大きくなると耐火構造が求められるため、可燃物である木材で耐火性能を実現する、様々な研究が行われている。木材周辺を石膏ボードなどの不燃材で覆ったり、熱容量が高い材料を配したりして温度上昇を抑制する対策が採られている¹⁾。

筆者らは、1時間耐火構造を目指して国産スギ材およびカラマツ材を利用した耐火集成材を開発し、大断面と小断面の2種類の部材で国土交通大臣認定を取得した²⁾。断面構成は図1に示すように、無処理の木材で構成した荷重支持部、火災からの火熱の侵入を防ぐ燃え止まり層（スギ）、および化粧材から構成している。燃え止まり層には、室素リン系の難燃処理薬剤を均一に含浸（平均156kg/m³）するため、ラミナにインサイジング処理（1.6mmの孔を800孔/m²、長手@125mm、短手@10mm）を行った。必要な燃え止まり層の仕様を把握し、燃え止まり層の厚さを規定して、大断面部材から小断面部材の範囲のなかで荷重支持部を自由に設定することが可能となった。

一方で、実際の建築物に耐火集成材を適用する場合には、部材の開発以外に接合部の検討も必要となる。筆者らは過去に耐火集成材同士の接合部の耐火性能を確認した³⁾。鋼板を介して柱と梁を接合し、ドリフトピンで固定した試験体を製作し、1時間の耐火試験を実施して接合部の荷重支持部が健全であることを確認した。混構造の場合は、耐火集成材とRC部材や鉄骨部材と接合することとなる。RC部材や鉄骨部材に対しても耐火被覆を行い部材の健全性を確保するものの、鉄骨部材と耐火集成材の接合部は許容温度の関係から注意が必

図1 耐火集成材の概念図

要になる。すなわち、耐火被覆することで鉄骨部材の温度上昇を400～500℃に抑制するものの、接合部の鋼板プレートを介して耐火集成材の荷重支持部にこの熱が伝わると、耐火集成材は内部から燃焼に及ぶ可能性がある。このような背景のもと、過去には耐火集成材柱に接合する鉄骨梁全体を2時間耐火仕様のけい酸カルシウム板で被覆した仕様⁴⁾、接合部にRC部材を設置して木部材への熱侵入を抑制した仕様⁵⁾等、接合部の耐火性能が確認されている。

そこで本研究では、鉄骨部材の耐火被覆として一般的に使用されている吹付ロックウール（以下、RW）を採用し、接合部付近の鉄骨部材の耐火被覆を、範囲を限定して割り増し、耐火集成材（梁部材）と接合した試験体を製作して耐火性能を確認したので報告する。

2. 予備解析

鉄骨部材に1時間耐火仕様の耐火被覆を施し1時間の加熱を加えた場合、部材温度は400～500℃に達し、接合部の鋼板プレートを介

¹⁾ 鹿島建設技術研究所 上席研究員・博士（工学）
（〒182-0036 東京都調布市飛田給2-19-1）

²⁾ 鹿島建設（株）建築設計本部 グループリーダー

³⁾ 鹿島建設（株）技術研究所 担当部長・博士（工学）

⁴⁾ 鹿島建設（株）技術研究所 研究員

¹⁾ Chief Research Engineer, Kajima Technical Research Institute, Dr.Eng.

²⁾ Group Leader, Kajima Corporation

³⁾ Senior Manager, Kajima Technical Research Institute, Dr.Eng.

⁴⁾ Research Engineer, Kajima Technical Research Institute

して耐火集成材側に熱伝導する危険性がある。そこで、耐火集成材に近い1mの範囲を3時間耐火仕様で被覆することで鉄骨部材の温度上昇を抑えることを考えた。鉄骨部材を3時間耐火仕様で被覆すると、1時間の耐火試験では100℃程度の温度上昇となる。

耐火試験を行う前の予備解析として、棒状の鋼材の片側の端部を450℃に固定した状態で1時間継続した場合に、高温端部の影響がどの範囲まで及ぶか確認することとした。

半無限固体を仮定し、端部の表面温度が T_x に突然引き上げられ、 T_x が維持された場合には、熱伝導によって時間とともに固体温度は上昇する。この時、熱伝導方程式

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (1)$$

を下記初期条件および境界条件

$$\left. \begin{aligned} T &= T_0 & (t=0, \quad 0 \leq x < \infty) \\ T &= T_\infty & (0 \leq t < \infty, \quad x=0) \\ T &= T_0 & (0 \leq t < \infty, \quad x=\infty) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

のもとに解くと次式が得られる⁶⁾。

$$\frac{T(x, t) - T_0}{T_\infty - T_0} = \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{\alpha t}}\right) \quad (3)$$

この時、 x は端部からの距離 (m)、 α は熱拡散率 (m^2/s)、 t は時間 (s)、 T_x は固定温度 450 (℃)、 T_0 は初期温度 20 (℃) を示す。熱拡散率は、密度 ρ (kg/m^3)、比熱 c (kJ/kgK)、熱伝導率 λ (kW/mK) で表記できる。鋼材の場合、 $\rho=7870$ (kg/m^3)、 $c=0.442$ (kJ/kgK)、 $\lambda=80.3 \times 10^{-3}$ (kW/mK) となる。

図2に予備解析結果を示した。図より時間の経過とともに高温端部の影響が拡大していることがわかる。加熱60分経過すると、端部から0.5mでは約100Kの上昇に達するものの、端部から1mではほとんど温度上昇していない。以上のことから、耐火集成材に接合する鉄鋼材の耐火集成材側1mを3時間耐火被覆して試験体を製作し、耐火性能を確認する。また試験装置の制限から1時間耐火被覆の範囲を1mとするが、この1時間耐火被覆の範囲が長いことの影響を確認する必要がある。1時間耐火被覆の範囲が長くなり、3時間耐火被覆と1時間耐火被覆の境界部で450℃の高温が長時間継続することを想定し、加熱時間の倍の2時間継続する条件を計算した。図示するように、高温が2時間継続しても鋼材の温度上昇は約30Kとなる。

図2 予備解析の結果

3. 試験体

3.1 耐火集成材梁と鉄骨梁接合部 (試験体B-B)

作製した試験体を図3に示した。試験装置の規模から加熱範囲が3mであるため、耐火集成材を1m、鉄骨部材を2mとし、鉄骨部材の耐火集成材側1mを3時間耐火被覆、残り1mを1時間耐火被覆とした。耐火集成材は、荷重支持部の断面を200mm(W)×400mm(H) (樹種：カラマツ、等級：対称異等級、強度等級：E95-F270、平均密度：534kg/m³) とし、全体で320mm(W)×460mm(H)の断面とした。耐火集成材の構成は、燃え止まり層50mm、化粧層10mmとした。燃え止まり層の平均薬剤含浸量は、219kg/m³で含水率は11.4%であった。

鉄骨部材は、SS400材H-400mm×200mm×8mm×13mmとし、耐火集成材側1mをRWの3時間耐火仕様(60mm)で、残りを1時間耐火仕様(25mm)で施工した。耐火集成材と鉄骨部材の接合部は、厚み9mm、600mm×300mmの鋼板プレート(以降、接合プレートと記載)を鉄骨梁ウェブ部分にM16ボルト9本で留付し、耐火集成材にはスリットを設けてドリフトピンφ12mm×150mm、12本で接合した。打ち込んだピンの後は、難燃処理した木片で埋め木処理を行った。

耐火集成材と鉄骨部材は、耐火集成材に接合プレートを上から差し込めるように、11mmの幅(クリアランス2mm)でスリットを設けた。幅11mmのスリットは、接合プレートが荷重支持部高さ方向の中央にくるよう、耐火集成材上部から350mmまで切欠いた。接合プレートとスリットの間には特に充填材等を挿入していない。スリットの割り込み深さと高さのクリアランスは5mmとした。耐火集成材および鉄骨梁上部には、床スラブを模擬したALC板(厚さ100mm)を設置した。ALC板は、鉄骨梁の上部にM12×130mmを溶接し、ナットで固定した。鉄骨梁と接合する側の耐火集成材小口は荷重支持部および燃え止まり層が露出しているため、鉄骨梁の耐火被覆と同様、写真1のように厚みが60mmとなるようにRWを吹付けた(含水率：4.1%)。

温度計測用の熱電対は、耐火集成材には接合部から750mmの断面Bw-1(B-B)と、500mmの断面Bw-2(B-B)において、荷重支持部と燃え止まり層境界の下端隅角部2点、側面の一般部に2点、計8点を設置した。鉄骨部材には、3時間耐火被覆範囲の中央断面Bs3h(B-B)および1時間耐火被覆範囲の中央断面Bs1h(B-B)において、下フランジ5点、ウェブ2点、上フランジ2点の計18点に設置した。また、接合部CP(B-B)には、接合プレート下端から10mmに2点、下端から200mmに2点、計4点設置した。図4に熱電対設置位置を示した。

3.2 耐火集成材梁と鋼管柱接合部 (試験体B-C)

作製した試験体を図5に示した。鋼管柱の2.6mのうち、耐火集成材梁と接合する鋼板(接合プレート)の下端から1mを3時間耐火被覆(65mm)とし、残りを1時間耐火被覆(25mm)とした。すなわち、1時間耐火被覆の領域と接合プレートの最短距離が1mとなるよう接合部近傍の3時間耐火の被覆範囲を決定した。1時間耐火被覆(25mm)と3時間耐火被覆(65mm)の境界は、40mmの距離で所定の厚さになるよう表面を傾斜させて施工した(含水率：4.2%)。耐火集成材は、荷重支持部の断面を160mm(W)×440mm(H) (樹種：カラマツ、等級：対称異等級、強度等級：E95-F270、平均密度：528kg/m³) とし、燃え止まり層を50mm、化粧層を10mmとし、全体で280mm(W)×500mm(H)の断面とした。燃え止まり層の難燃薬剤の平均薬剤含浸量は184kg/m³で、含水率は8.1%であった。試験体写真を写真2に示す。

写真1 接合部写真
(耐火集成材と鉄骨梁接合部、試験体 B-B)

Bw-1、Bw-2 断面 (320×460)

Bs3h、Bs-1h 断面

接合プレート (CP)

図4 熱電対設置位置(耐火集成材と鉄骨梁接合部、試験体B-B)

写真 2 接合部写真

(耐火集成材と鋼管柱接合部、試験体 B-C)

図6 熱電対設置位置 (耐火集成材と鋼管柱接合部、試験体 B-C)

鋼管柱は、実案件を模擬して□-500mm×500mm×19mmとした。耐火集成材との接合には、鋼板(厚さ9mm, 400mm×320mm)を鋼管柱に溶接した。耐火集成材に接合プレートを上から差し込むよう、11mmの幅(クリアランス2mm)でスリットを設けた。幅11mmのスリットは、接合プレートが荷重支持部高さ方向の中央にくるよう、耐火集成材上部から380mm(割り込み深さおよび高さのクリアランス2mm)まで切欠いた。鋼管柱に面する耐火集成材の小口には被覆は行わず、ドリフトピン(φ12mm×150mm)16本で接合した後、柱側の耐火被覆(65mm)を耐火集成材梁と耐火被覆の間に隙間がないよう施工した。ドリフトピンを打ち込んだ位置は、難燃処理した木片で埋め木処理した。

温度計測用の熱電対は、耐火集成材には接合部から1000mmの断面Bw-1(B-C)と500mmの断面Bw-2(B-C)において、荷重支持部と燃え止まり層境界の下端隅角部2点、側面の一般部に2点、計8点を設置した。鋼管柱には、3時間耐火被覆の接合プレート下端高さの断面Bs3h(B-C)、3時間耐火被覆と1時間耐火被覆の境界高さ(接合プレート下端から1020mm)の断面Bs1-3h(B-C)、および1時間耐火被覆の中央断面Bs1h(B-C)に各8点、計24点設置した。また接合部CP(B-C)には、柱からの熱伝導の影響を確認するために鋼板部分下端から10mmに2点、下端から160mmに2点を鋼板プレートの柱接合部と柱面から200mmに接置した。鋼管柱内部には、鋼管柱内側が高温になることで内部の対流熱伝達が卓越しないか確認するため、中空層に1点熱電対を設置した。熱電対設置位置を、図6に示した。

4. 試験結果

耐火試験は、鹿島建設技術研究所の兼用耐火炉で実施した。IS0834

曲線に従った1時間の加熱を行い、その後炉内で放冷し全ての温度計測点で最高温度を確認した後、翌日脱炉して断面状況を確認した。

4.1 耐火集成材梁と鉄骨梁接合部

図7に、炉内の加熱温度および1時間仕様の耐火被覆部鋼材温度履歴を示す。1時間仕様の耐火被覆では、鋼材の下フランジおよびウェブにおいて、400℃を超える温度まで昇温している。この温度では、耐火集成材と直接接合した耐火集成材が着火すると思われる。

図8に、3時間仕様の耐火被覆部の温度履歴を示す。3時間仕様の耐火被覆で1時間の耐火試験を行うと、鋼材温度は70分で約90℃まで昇温する。また80分以降には鋼材温度が再度昇温していることがわかる。これは、1時間仕様の耐火被覆範囲からの熱伝導に起因しており、180分に最高温度約110℃に達した後に温度減衰を始めた。図9に、耐火集成材と鉄骨部材接合部における接合プレート表面の温度履歴を示す。3時間仕様の耐火被覆部の温度履歴と同様、最高温度は90℃程度となった。また耐火集成材との境界位置および境界から100mm離れた位置の温度履歴は同様であり、図8に示したような再昇温は確認されなかった。接合プレート位置は1時間耐火および3時間耐火被覆範囲から1m離れており、1時間仕様の耐火被覆部の高温の影響が及ばなかったと考えられる。写真3に、耐火試験後の接合プレートおよび耐火集成材の切断断面を示す。接合プレートを介しての燃え込みはなく、荷重支持部は健全であり、隅角部で約10mm(最高約160℃)、一般部で約25mm(最高約115℃)の燃え止まり層の残存を確認した。これは、大臣認定仕様の平均含侵量で製作した耐火集成材と同様の結果となった。

図7 加熱温度および鋼材温度履歴（1時間耐火被覆）
（試験体 B-B）

図8 鋼材温度履歴（3時間耐火被覆、試験体 B-B）

図9 接合プレートの温度履歴（試験体 B-B）

写真3 耐火試験後の切断面（鉄骨梁接合、試験体 B-B）

4.2 耐火集成材梁と鋼管柱接合部

加熱試験の結果、柱部の1時間仕様の耐火被覆範囲では、鋼材温度は約200℃まで昇温した。また柱内部の中空層温度は最高で120℃程度であり、柱内部の対流による熱伝達の危険性は低かった。

図10に、3時間仕様の耐火被覆部分の鋼材温度履歴を示す。3時間仕様の耐火被覆で1時間の加熱を行うと、鋼材温度は90分で約80℃まで上昇し、さらに100分以降には鋼材温度が再度上昇した。これは、1時間仕様の耐火被覆範囲からの熱伝導に起因しており、300分に最高温度約110℃まで達した後に温度降下を始めた。また1箇所だけ低温を示しているのは接合プレートを溶接した面であり、鋼管から鋼板に伝熱しているためである。

図11に、耐火集成材と鋼管柱接合部における鋼板の温度履歴を示す。3時間仕様の耐火被覆部分の温度履歴と同様の傾向を示し、鋼管柱に近い位置（No. 25, 26）の最高温度は100℃程度、鋼管柱から200mm離れた位置（No. 27, 28）では更に低温となった。1時間仕様の耐火被覆部分からの伝熱の影響は小さかったと考えられる。写真4に、耐火試験後の鋼板および耐火集成材の切断断面を示す。鋼板を介しての燃え込みはなく、荷重支持部は健全であることが確認された。耐火集成材は、試験体 B-B 同様に、隅角部で約10mm（最高約160℃）、一般部で約25mm（最高約115℃）燃え止まり層が残存した。この結果も、大臣認定仕様で製作した耐火集成材と同様となった。

写真4 耐火試験後の切断面（鋼管柱接合、試験体 B-C）

図10 鋼材温度履歴（3時間耐火被覆部分、試験体 B-C）

図11 接合プレートの温度履歴（試験体 B-C）

5. 部材メンバーの検討

3.2 で示したように、今回の試験では実物件で使用した柱断面で試験体を製作した。一方鉄骨部材の場合、部材のメンバー、特に板厚が温度上昇の抑制に寄与することが知られており、板厚が厚い場合に耐火性能が確保できたとしても板厚が薄くなった場合にその性能が保有されるかは不明である。そこで、鉄骨部材のメンバーを変数に鋼材の最高温度を予測する。

耐火被覆を行った鉄骨部材が時間 t の火災を受けた場合の鋼材の最高温度 T_s は、温度上昇遅延時間 T_w と部材温度上昇係数 h を用いて下記で求めることができる⁷⁾。

$$T_s = 460 \left(\frac{t}{(460/\alpha)^{3/2}} \right)^{1/6} \left(1 - \exp \left(-h \frac{t - T_w}{(460/\alpha)^{3/2}} \right) \right) + T_0 \quad (4)$$

温度上昇遅延時間 T_w および、部材温度上昇係数 h は、

$$T_w = a_w / (H_i / A_i)^2 \quad (5)$$

$$h = \frac{\phi K_0 (H_s / A_s)}{\left\{ 1 + \frac{\phi R}{(H_i / A_i)} \right\} \left\{ 1 + \frac{\phi}{2} \frac{(H_s / A_s)}{(H_i / A_i)} C \right\}} \quad (6)$$

で求められる。この時、 a_w は温度上昇遅延時間係数 (min/m^2)、 K_0 は基本温度上昇速度 (m/min)、 R は熱抵抗係数 (-)、 C は熱容量比 (-) を示し、被覆や鋼材の区分によって定められている。また α は火災温度上昇係数 ($^\circ\text{C}/\text{min}^{1/6}$)、 t は時間 (min)、 ϕ は周長比 (-)、 H_s は鋼材の外周長 (m)、 A_s は鋼材の断面積 (m^2)、 H_i は被覆材の外周長 (m)、 A_i は被覆材の断面積 (m^2)、 T_0 は初期温度 $20(^\circ\text{C})$ を示す。

今回の試験では、 $\square-500\text{mm} \times 500\text{mm} \times 19\text{mm}$ の鋼材に RW で 3 時間耐火被覆 (65mm) した試験体に ISO-834 に従って 1 時間の加熱を行った結果、図 8 に示すように鋼材の最高温度は約 90°C となった。また被覆や鋼材の区分に従うと、温度上昇遅延時間係数 a_w は 19600、基本温度上昇速度 K_0 は 0.00116、熱抵抗係数 R は 390、熱容量比 C は 0.081 と定められている。式(6)に鋼材外周長や断面積、被覆材の外周長や断面積を入力して部材温度上昇係数 h を求め、式(4)に代入して最高鋼材温度が実験値 (約 90°C) となるように温度上昇遅延係数を求めると、25 分が得られる。

この結果を基に、メンバーを変更した場合の鋼材最高温度をパラメータスタディする。板厚を 9mm および 12mm とし、 $\square-300\text{mm} \times 300\text{mm}$ としたケースの計算結果を図 12 に示す。図より、断面が小さくなるにつれ、また板厚が薄くなるにつれ、鋼材の最高温度が上昇する傾向が確認され板厚の効果が大きいことがわかる。但し、 $\square-300\text{mm} \times 300\text{mm} \times 9\text{mm}$ の断面であっても、木材の着火温度 260°C ⁸⁾ に対して 100°C 以上の余裕があることは確認できた。2 節に記述したように、1 時間耐火の範囲が更に長くなり、熱伝導に伴う鋼材の温度が更に大きくなることを想定しても、着火温度に対しては余裕があることから、木造部材に接合する鋼材の 1m の範囲を 3 時間耐火仕様で被覆することで、熱伝導に伴う燃え込みを防ぐことができると推測される。

図 12 柱メンバーを変数とした鋼材温度の予測結果

6. まとめ

耐火集成材と鉄骨梁および柱部材を接合した試験体を製作し、1 時間の加熱試験を行った結果、下記のことが確認できた。

- ①耐火集成材梁と鉄骨梁、鋼管柱を接合した試験体を製作し、接合する鉄骨部材 1m の範囲を 3 時間耐火仕様で被覆して耐火試験を行った。この結果、耐火集成材側への熱の侵入を抑制でき、耐火集成材の健全性を確認することができた。
- ②試験結果をもとに鉄骨部材のメンバーが変わった場合の予測を行った。板厚や断面が小さくなることで鋼材の温度が上昇するが、接合する木造部材の着火温度には余裕があった。
- ③今回は、木造部材と鉄骨部材の接合部における鉄骨部材側の被覆について熱伝導距離に着目した検証を行った。木造部材は特におさまりや隙間が重要となるため、製造精度や施工方法に留意する必要がある。

参考文献

- 1) Ohashi T. et al.: INFLUENCE OF WOOD DENSITY TO FIRE RESISTANCE OF THE LOAD-BEARING PART, AIJ J. Technol., Vol.21, No.47, pp.151-156, 2015. 12 (in Japanese)
大橋宏和, 長岡 勉, 永盛洋樹, 高橋 拓, 山本正人, 杉田敬太郎, 遊佐秀逸, 大宮喜文, 山田 誠, 齋藤 潔: 耐火木造部材の荷重支持部の木材密度が耐火性能に与える影響, 日本建築学会技術報告集, 第 21 巻, 第 47 号, pp.151-156, 2015.2
- 2) Kakae N. et al.: BURNING BEHAVIOUR ON FIRE PREVENTIVE OF SEVERAL COLUMNS, AIJ J. Technol., Vol.22, No.52, pp.997-1002, 2016. 10 (in Japanese)
抱 憲誓, 宮本圭一, 西村光太, 服部順昭, 安藤恵介, 原田寿郎, 上川大輔, 宮林正幸: 断面構成が異なる耐火集成材柱の燃焼特性, 日本建築学会技術報告集, 第 22 巻, 第 52 号, pp.997-1002, 2016.10
- 3) 西村光太, 宮本圭一, 抱 憲誓, 服部順昭, 安藤恵介, 石垣弘之, 原田寿郎, 上川大輔, 宮林正幸, 大内富夫: 耐火集成材の開発 (その 8) ラミナの部分的薬剤処理により作製したスギ耐火集成材柱・梁接合部の加熱試験, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (東北), 防火, pp.325-326, 2009
- 4) 金城 仁, 大橋宏和, 岡崎智仁, 永森洋樹, 長岡 勉, 山本秀一, 遊佐秀逸: 耐火木造部材の耐火性能に関する研究 その 4 柱と鉄骨梁接合部の加熱実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (北海道), 防火, pp.143-144, 2013
- 5) 井戸和彦, 水落秀木, 広田正之, 森田 武, 坂本真一, 黒瀬行信: 木質ハイブリッド架構の開発-耐火木質柱と接合部の耐火試験-, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (九州), 防火, pp.61-62, 2016
- 6) 田中峰義: 建築火災安全工学入門, 日本建築センター, 2002
- 7) 2001 年版 耐火性能検証法の解説及び計算例とその解説, 2001
- 8) 原田和典: 建築火災のメカニズムと火災安全設計, 日本建築センター, 2007

[2021 年 2 月 3 日原稿受理 2021 年 3 月 26 日採用決定]