

平成30年度
戦略的基盤技術高度化・連携支援事業
戦略的基盤技術高度化支援事業

「航空機複合材構造用高強度・高弾性率隙間埋め材の開発」

研究開発成果等報告書

平成31年3月

担当局	中部経済産業局
補助事業者	公益財団法人 科学技術交流財団
間接補助事業者	株式会社 槌屋
	国立大学法人 京都大学
	大学法人立命館 立命館大学

目 次

第1章 研究開発の概要

- 1－1 研究開発の背景・研究目的及び目標
- 1－2 研究体制
- 1－3 成果概要
- 1－4 当該研究開発の連絡窓口

第2章 本論

- 【1. 隙間埋め材の高強度・高弾性率化の課題への対応】
- 【2. 隙間埋め材の適正施工法確立及び施工法に適した隙間埋め材性状確立】
- 【3. 隙間埋め材の工程時間短縮化の課題への対応】
- 【4. 川下二ーズを踏まえた隙間埋め材の品質評価技術の確立への対応】

最終章 全体総括

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

(1) 背景

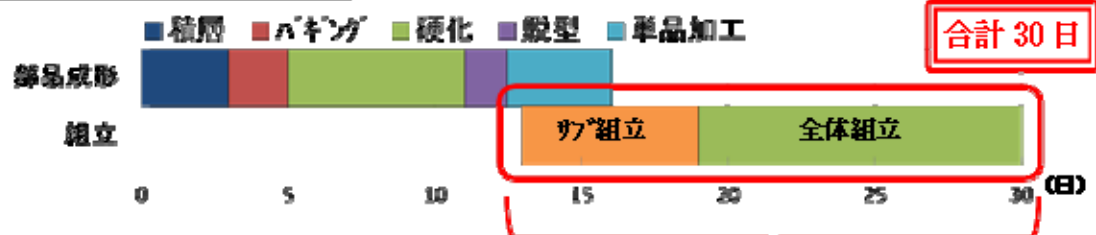
近年、航空機分野において、航空機の構造部材に占める複合材料、特に炭素繊維強化プラスチック（CFRP）の割合が大きく増加し、Boeing787 では重量で 50%を超えるまでになってきている。このように大量に使用され、今後も使用拡大が期待される CFRP であるが、日本の航空機構造用複合材部材の組立工程では非常に手間や時間がかかる工程を経て製造されているため、この工程だけで半月以上を費やしている。今後 20 年間の新製航空機のボリュームマーケットである小型機（例えば、Boeing737 後継機等）では大型機（月産 10 機程度）に比べ、月産 100 機程度と非常に生産量が多くなることが想定されている。そのため、現行のように量産性が乏しく、製造コストが高い工程では、機体メーカーからのニーズである「低コスト」には対応出来ず、CFRP の原料生産国としての国内プレゼンスを発揮することが出来ず、人件費等低コストである諸外国へ部材製造が移管される恐れがある。

なぜ複合材組み立て工程でそれほど時間や手間がかかっているのか。その1つの要因としては、複合材部材同士を組み付ける際の隙間埋めにたいへん時間と手間がかかっていることが挙げられる。複合材部材同士を組み付ける際、それらの間にはどうしても複合材の寸法精度の低さに起因した隙間が生じる。アルミなどの金属部材の場合、寸法精度は ± 0.25 mm で製造できるのに対し、CFRP は ± 2 mm でしか製造できず、材料メーカーからは材料製造工程から改良したとしても ± 1 mm までしか向上することができないとの見解が示されている。この寸法精度の悪さから生じる隙間（部位毎に隙間量も異なる。）を埋めるために、各隙間の隙間量の計測から隙間埋め作業（隙間埋め材の適正サイズ切断、挿入）に至るまで手作業で実施しているため、手間と時間がかかっている。この隙間埋め工程は複合材を使用する以上は必須の工程であり、この工程だけでも2日間を必要としており、工程時間短縮という課題がある。

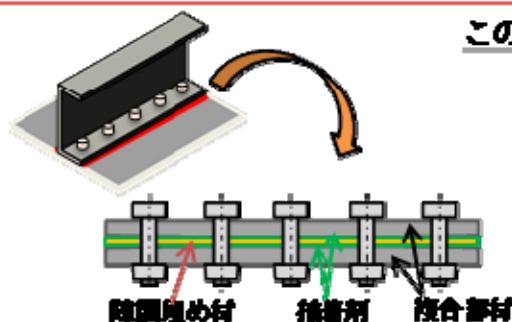
また、航空機構造組立に際しては、20 万本ものボルトで部材同士を締結し、強度不足を補強しているため、膨大な組立時間、及び重量の増加を余儀なくされている。組立時間の短縮、軽量化の観点から、接着組立によるボルトレス化またはボルト締結数低減が望まれるが、現状の隙間埋め材は強度や弾性率を求められておらず、これは脆く、割れる場合があり、ボルト締結数量低減には適用できない。機械締結では部材同士がボルトで結合されているため、隙間埋め材が割れても航空機構造の健全性を保つことができるが、接着組

立では隙間埋め材が割れると接着部全体の破壊につながるため、極めて危険である。現状の隙間埋め材は、ボルト結合があることを前提として作られているため、隙間を埋めるだけの役割しかなく、ボルト締結数を低減させるのに十分な強度と弾性率を兼ね備えた隙間埋め材はまだ存在していない。

航空複合材料製造の製造日数



従来技術

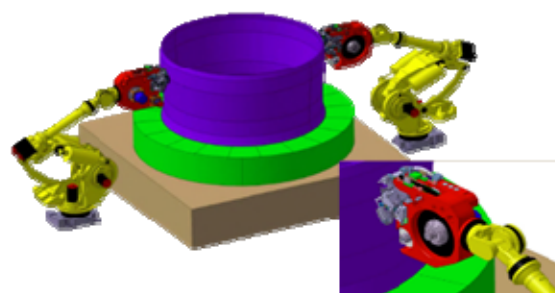


この内 2 日分が隣り埋め工程

- ・ 隣り埋め、隣り埋めは手作業
⇒ 膨大な手間
- ・ 多数のボルト締結必要
(隣り埋め材が割れても結合部全体が破壊しないため)
- ・ 隣り埋め材の強度、弾性率が低い (~ 3GPa) ⇒ ボルトで強度補償



新技術



- ・ 工和時間短縮・歩留まり向上
⇒ 2 日 → 1 ~ 0.5 日に短縮

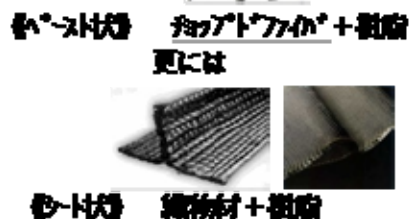
- ・ 隣り埋め材の強度、剛性が高い
⇒ ボルト締結数低減可

- ・ 高強度、高弾性率隣り埋め材
【要求値】 弾性率 20GPa (複合材の 1/3) 以上

高強度高弾性率隣り埋め材

強度、剛性があり隣り埋めに対し柔軟な適用が可能な隣り埋め材

接着剤
複合部材



課 題	特 徴
・隙間埋め工程の手間・時間が膨大	・設備供給、塗工が可能で、工程時間の
・ボルト締結の数量多い	短縮化が可能
・隙間埋め材の強度、弾性率低い	・ボルト締結数の低減可能

上記のような課題・ニーズから、隙間埋め材の高強度、高弾性率化及び隙間埋め工程の自動化・工程時間の短縮化が望まれている。これらを達成することで、製造コストに関しても圧倒的低コスト化が可能となる。また、ボルト締結の数量を減らすことでの軽量化が期待できる。今後、更に成長著しい航空機への複合材の適用拡大を考慮した場合、新規隙間埋め工程の確立が急務であることは明らかであり、日本の航空機製造技術の向上に貢献し、国際競争力を確保する上でも日本独自の技術をつくることが必要不可欠である。

航空機業界では、複合材部材を構造用部材として適用し、航空機を製造する場合、組み立て工程で実働 30 日を要している。この内、必須工程である隙間埋め工程だけでも 2 日間を必要としており、この工程の時間短縮という課題が生じている。

航空機構造組立に際しては、20 万本ものボルトで部材同士を締結するため、膨大な組立時間、及び重量の増加を余儀なくされている。組立時間の短縮、軽量化の観点から、接着組立が望まれるが、構造において接着組立は被接着部材同士の隙間が接着強度に大きく影響する。従って接着強度を確保するために単品部品成形時に高い寸法精度が要求され、熱変形を考慮した治具の設計、厳格な成形プロセス管理が必要となる。単品部品を可能な限り寸法精度よく成形し、機械加工を行った場合でも、加工公差により接着面には隙間ができてしまう。通常の機械締結で隙間を埋めるには、ペースト状で塗布後に硬化させる隙間埋め材が用いられるが、これは脆く、割れる場合があり、また、広い隙間には適用できない。機械締結では部材同士がボルトで結合されているため、隙間埋め材が割れても航空機構造の健全性を保つことができるが、接着組立では隙間埋め材が割れると接着部全体の破壊につながるため、極めて危険である。現状の隙間埋め材は、ボルト結合があることを前提として隙間埋めの役割として作られているため、十分な強度と接着性を兼ね備えた材料はまだ存在していない。

株式会社槌屋と三菱重工業株式会社は強度、弾性率を向上した隙間埋め材を開発すべく共

同で開発を実施し、炭素繊維（チョップドファイバ）と樹脂材を混合した隙間埋め材を試作し、繊維混合により、隙間埋め材の弾性率向上効果が得られることまで確認した。さらにその実験結果をもとにシミュレーションを実施し、複合材自身の曲げ弾性率（60GPa）の1/3以上の弾性率を隙間埋め材が有していれば、ボルト締結数を低減できるという計算結果が得られた。しかしながら、まだ炭素繊維の量、分散度合い、樹脂材種類等々最適化の必要があり、実用に向けた特性評価や塗工性についても、今後検討が必要である。

○当該分野における研究開発動向

ボルト締結数低減を目指した高強度・高弾性率隙間埋め材に関する技術は世界でも注目されつつある状況ではあるが、未だ着手されていないのが現状である。

（２）研究目的・目標値

航空機構造への複合部材組立てでボルト締結数低減に向けた隙間埋め材の高強度・高弾性率化を図る。併せて、隙間埋め材の流動性などの特性を最適化させ、施工性を改善することにより、隙間埋め工程時間短縮を図る。従来技術では、隙間埋め材に強度・弾性率は期待されておらず、ボルト締結が基本として成立しているが、航空機の軽量化を狙う際は、ボルト締結の数を削減する必要がある。ボルト締結数を削減する手法として、隙間埋め材の強度・弾性率を向上させて隙間埋め材の割れ等を抑制することにより、ボルト締結数削減を図る。また、隙間埋め材の供給・塗工を自動化するために設備での施工可能な隙間埋め材の成立を目指す。

【1. 隙間埋め材の高強度・高弾性率化の課題への対応】

【1-1】隙間埋め材の材料設計

材料物性及び材料の組成・構成（添加フィラー形状等）を基にシミュレーションを行い、高強度・高弾性率の材料組成について最適化して材料選定を行う。材料選定に伴い、隙間埋め材のバインダーには添加するカーボン材料の量を増やしても流動性が保てることを期待して粘度が低く、耐熱性の観点からガラス転移点 100℃以上の材料を選定する。またカーボン材料としてチョップドファイバを選定する場合、分散処理時に折れにくい PAN 系炭素繊維の材料を使用する。サイズに関しては次項にて最適化するため、長さの水準を変えた材料を用いる。

（目標値）高強度・高弾性率の材料組成について最適化して材料選定を行う。

【1-2】隙間埋め材の試作検討

選定した材料を基に、実際に隙間埋め材を調合して強度測定及び弾性率測定を行う。また、シミュレーション結果との照合を行い、調合方法（分散方法、混合手順）の条件について最適化を実施する。それによって、弾性率として20GPa以上の隙間埋め材を達成する。

（目標値）弾性率として20GPa以上の隙間埋め材を達成する。

【2. 隙間埋め材の適正施工法確立及び施工法に適した隙間埋め材性状確立】

【2-1】隙間埋め材の低粘度化手法の研究開発

隙間埋め材の施工性を向上するために、隙間埋め材の添加フィラーの表面処理や分散度検討を行い、ペーストからのシート化が可能な粘度まで低粘度化を達成する。

（目標値）ペーストからのシート化が可能な粘度まで低粘度化を達成する。

【2-2】隙間埋め材の供給・塗工方法の研究開発

隙間埋め材を設備で供給するために、設備による供給方法や塗工方法を検討する。それによって、実際の隙間を想定して狙った量の隙間埋め材を供給・塗工できる設備及び方法の目処出しをする。また、板状隙間埋め材の適用を見据え、厚さが1mm以上の試作品を作製する。

（目標値）実際の隙間を想定して狙った量の隙間埋め材を供給・塗工できる設備及び方法の目処出しをする。板状隙間埋め材の適用を見据え、厚さが1mm以上の試作品を作製する。

【2-3】隙間埋め材のレオロジー特性把握及び気泡混入対策に関する検討

実際の複合材部材の組み上げを想定して、隙間埋め材の変形量を計測し、大きな隙間（2

～4mm 程度)においても十分に隙間を埋めることが可能な隙間埋め材を達成する。また、隙間埋め材中に気泡を巻き込んでしまうと物性低下や品質の安定性が悪くなってしまうため、気泡混入対策を行い、その対策によって隙間埋め材中の気泡含有率として2vol. %以下を達成する。

(目標値) 隙間埋め材中の気泡含有率として2vol. %以下を達成する。

【3. 隙間埋め材の工程時間短縮化の課題への対応】

【3-1】 隙間埋め材施工における工程時間短縮化に関する研究開発

工程時間を短縮化するために、実部品を想定したテストピースを用いて隙間埋め工程を模擬し施工する。そしてより工程時間短縮化が可能な施工条件について課題抽出と解決検討を実施する。施工条件により作製したテストピース(複合材/隙間埋め材/複合材)の接着強度測定を行い、必要な強度・弾性率を保持したまま、従来に比べ隙間埋め材の施工時間を半分以上にする(2日→1～0.5日)。

(目標値) 従来に比べ隙間埋め材の施工時間を半分以上にする(2日→1～0.5日)。

【4. 川下ニーズを踏まえた隙間埋め材の品質評価技術の確立への対応】

【4-1】 隙間埋め材の品質評価技術に関する研究開発

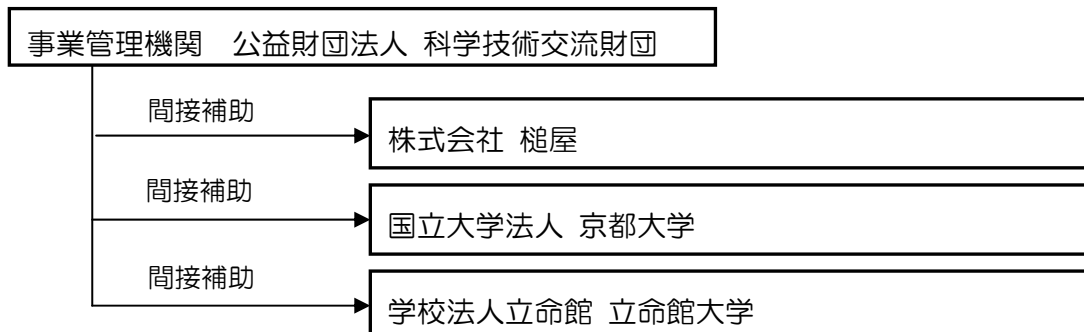
試作した隙間埋め材が実際に航空機用として使用するために、品質評価技術に関して検討を行い、製品化を加速させる。そのため、実際に航空機部材を製造している三菱重工業㈱にて隙間埋め材を試作提供可能な品質まで向上させる。

(目標値) 隙間埋め材の川下企業(三菱重工業株式会社、中菱エンジニアリング)での評価1件以上実施する。

1-2 研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）

○実施体制

・履行体制図



・管理員及び研究員

管理員

【事業管理機関】 公益財団法人 科学技術交流財団

氏 名	所属・役職
岩田 勇二	専務理事 兼 事務局長
山本 昌治	業務部・部長
田尻 耕治	業務部研究交流グループ・グループ長兼科学技術コーディネータ
青木 博史	業務部科学技術コーディネータ
藤井 智也	業務部中小企業課・課長
松永 明美	業務部中小企業等研究開発支援グループ主事

研究員

【間接補助事業者】

株式会社 槌屋

氏 名	所属・役職
林 宏明	技術開発本部 新製品開発センター 常務執行役員（PL）
神谷 達志	技術開発本部 新製品開発センター 副部長（SL）
平光 規行	技術開発本部 新製品開発センター 課長
大窪 昶彦	技術開発本部 新製品開発センター 主任
鈴木 希望	技術開発本部 新製品開発センター 副主任
辻 幸太郎	技術開発本部 新製品開発センター 副主任

国立大学法人 京都大学

氏 名	所属・役職
北條 正樹	京都大学大学院工学研究科・教授

学校法人立命館 立命館大学

氏 名	所属・役職
日下 貴之	立命館大学理工学部機械工学科・教授
北尾 祐輝	立命館大学大学院・理工学研究科・博士前期課程2回生
中村 大輝	立命館大学・理工学部・4回生

・経理担当者及び業務管理者

（事業管理機関）

公益財団法人 科学技術交流財団

（経理担当者）総務部 総務課 係長 塚田 新也

（業務管理者）業務部 中小企業課 課長 藤井 智也

（間接補助事業者）

株式会社 槌屋

（経理担当者）管理統括本部 総務部 経理課 課長補佐 古川 哲

（業務管理者）技術開発本部 常務執行役員 新製品開発センター長 林 宏明

国立大学法人 京都大学

（経理担当者）桂地区（工学研究科）事務部 経理事務センター 契約掛長 田井 睦之

（業務管理者）大学院工学研究科 教授 北條 正樹

学校法人立命館 立命館大学

（経理担当者）立命館大学 研究部・BKC リサーチオフィス 課員補佐 乾 広久

（業務管理者）立命館大学 総合科学技術研究機構・機構長 島川 博光

1－3 成果概要

サブテーマ	目標	結果
【1 隙間埋め材の高強度・高弾性率化への対応】	（平成28年度） 隙間埋め材の材料組成を決定	弾性率と繊維長・繊維含有率の関係について解析した。解析結果を基に試作を行い、弾性率20GPa以上を達成した。
	（平成29年度） 弾性率20GPa以上を確保できる隙間埋め材の製造条件の最適化	製造に関わる条件（混合・脱泡・養生）を最適化し、隙間埋め材を安定的に作製可能となった。
【2. 隙間埋め材の適正施工法確立及び施工法に適した隙間埋め材材料確立	（平成28年度） 低粘度化手法目途出し	繊維長1mm以下の炭素繊維を用いることで、低粘度かつ高弾性率を両立できる目途が得られた。
	（平成29年度） 施工性確保のためのペースト低粘度化条件の確立、シート化可能な隙間埋め材の作製条件の確立	ペースト状は低粘度化により塗布ガンによる施工が可能となった。シート状は手動施工が容易であるが、自動施工にも適することを実証した。
	（平成30年度） 隙間埋め材中の気泡含有率2%以下	ペースト状、シート状どちらも硬化後の気泡含有率は2%以下を達成した。
【3. 隙間埋め材の工程時間短縮化の課題への対応】	（平成30年度） 隙間埋め材の施工時間を半分以下	外注リードタイムの短縮、施工性の改善により、施工工程時間半減が見込まれる。
【4. 川下ニーズを踏まえた隙間埋め材の品質評価技術の確立への対応】	（平成30年度） 隙間埋め材の川下企業での評価1件以上	航空機向けでは未達であるが、自動車向けで川下企業に評価頂いている。

1－4 当該研究開発の連絡窓口

所属 ： 株式会社榎屋 技術開発本部

氏名 ： 林 宏明

TEL ： 0566-83-2121

FAX ： 0566-83-1172

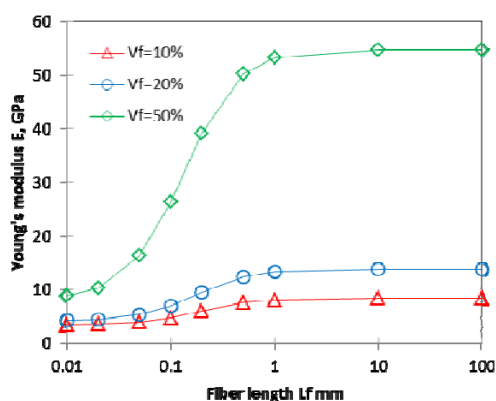
E-Mail ： hhayashi@tsuchiya-group.co.jp

第2章 本論

【1. 隙間埋め材の高強度・高弾性率化の課題への対応】

【1-1】隙間埋め材の材料設計

目標値である弾性率20GPaを達成する指標とするため、隙間埋め材の弾性率シミュレーションを行った。解析結果を図1-1-1に示す。



E (エポキシ) : 3.1 GPa

E (炭素繊維) : 294 GPa

繊維方向 : 3D ランダム

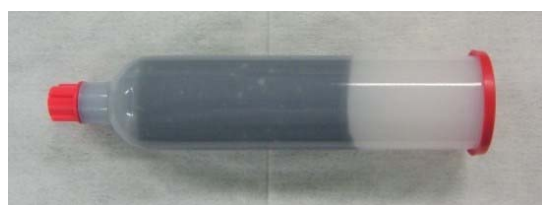
図 1-1-1 弾性率の解析結果

繊維長は約 1mm まで弾性率に比例することが分かった。また、繊維長より繊維含有率 (Vf) の影響が大きいことが分かった。繊維長が長くなるほど粘度が高くなり施工し難くなることから、繊維長 0.1mm から 1mm の炭素繊維を用いて、可能な限り繊維含有率を高くすることが有効であると推察した。

【1-2】隙間埋め材の試作検討

航空機用途で使用するリキッドシム、ソリッドシムの代替として、ペースト状隙間埋め材、シート状隙間埋め材を試作した。

ペースト状隙間埋め材はエポキシ樹脂と繊維長 1mm 以下の短繊維を、シート状隙間埋め材はエポキシ樹脂と炭素繊維織物を用いて試作を行った。試作品の写真を図 1-2-1 に示す。



(a)ペースト状隙間埋め材



(b)シート状隙間埋め材

図 1-2-1 試作した隙間埋め材

試作した隙間埋め材を硬化させて引張試験を行った。結果を図1-2-2に示す。シート状、ペースト状どちらも弾性率は目標値20GPa以上を達成した。弾性率、強度共に長繊維を用いるシート状隙間埋め材の方が高い値を示した。

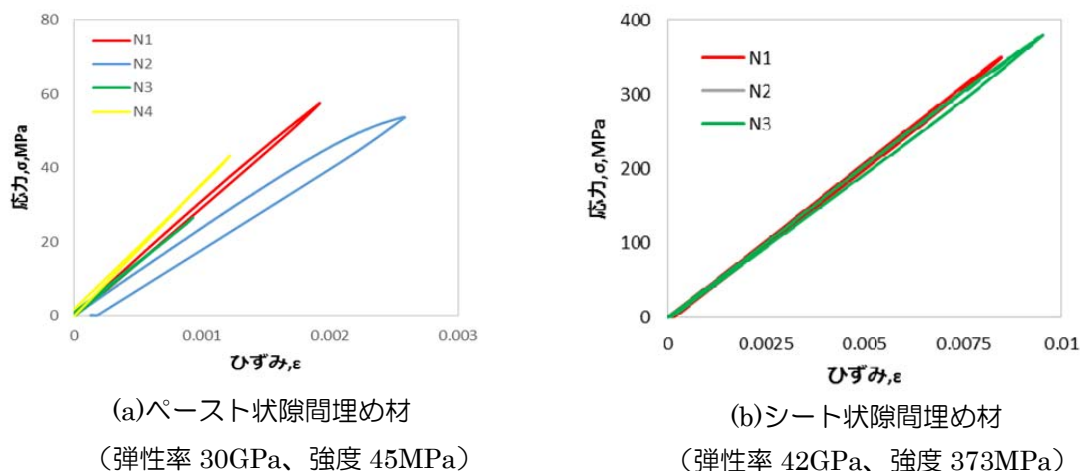


図 1-2-2 引張試験結果

【2. 隙間埋め材の適正施工法確立及び施工法に適した隙間埋め材性状確立】

【2-1】隙間埋め材の低粘度化手法の研究開発

炭素繊維の添加量が多い程、繊維長が長い程、弾性率・強度の向上が期待できる一方で、増粘してしまい施工し難くなる。繊維長1mmとより短い0.03mmの炭素繊維を用いて繊維長と粘度の比較を行った。結果を図2-1-1に示す。

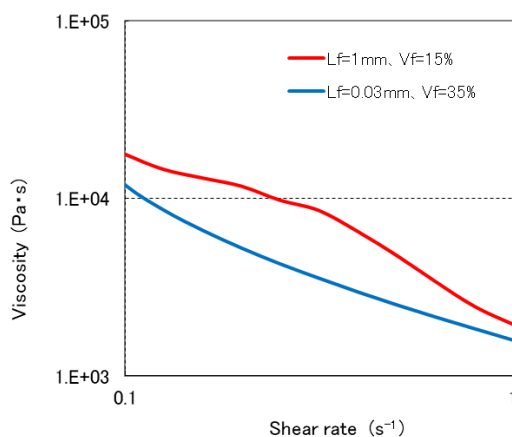


図 2-1-1 繊維長と粘度の比較

繊維長の粘度に及ぼす影響は非常に大きく、繊維長1mmでは少量であっても施工できない粘度になってしまう。図1-1-1及び図2-1-1の結果を基に、弾性率20GPa以上かつ施工可能な配合比を決定した。

【2-2】隙間埋め材の供給・塗工方法の研究開発

ペースト状隙間埋め材の施工方法として、接着剤などで用いられる塗布ガンの使用を検討した。ペースト状隙間埋め材を塗布ガン用のシリンダーに充填し、塗布検討を行った。また、ペースト状隙間埋め材をヘラ等で塗り広げる際にボイドが混入する懸念があるため、幅広のノズルを選択した（図2-2-1）。□150mm のアルミ基材への施工は3分以内であり、現場に適した施工方法であると考えられる。



図 2-2-1 ペースト状隙間埋め材の施工検討

シート状隙間埋め材を用いて施工検討を行った。手動で $t1.2\text{mm} \times 150\text{mm} \times 300\text{mm}$ のシート状隙間埋め材平板に対して施工を行ったところ、数秒程度で容易に施工が可能であった（図2-2-2 a）。また、平成29年度に導入したテープ貼り機用いて、自動施工の検討を行った。①離型フィルムの剥離、②ローラーで貼りつけ、③カットを連続して実施し、自動施工にも対応できることを確認した（図2-2-2 b）。



(a)手動施工



(b)自動施工

図 2-2-2 シート状隙間埋め材の施工検討

【2-3】 隙間埋め材のレオロジー特性把握及び気泡混入対策に関する検討

隙間埋め材は製造時だけではなく、施工時にも気泡が混入する懸念がある。特にシート状隙間埋め材では施工時に基材との界面に気泡が混入し易いを確認した（図2-3-1）。しかし、航空機複合材構造では隙間埋め材施工後にオートクレープで減圧を行うため、気泡の減少が期待できる。オートクレープにおける隙間埋め材のレオロジー特性評価を行った。結果を図2-3-2に示す。



図 2-3-1 シート状隙間埋め材

施工時の気泡混入確認

（ガラスに施工し裏から撮影）

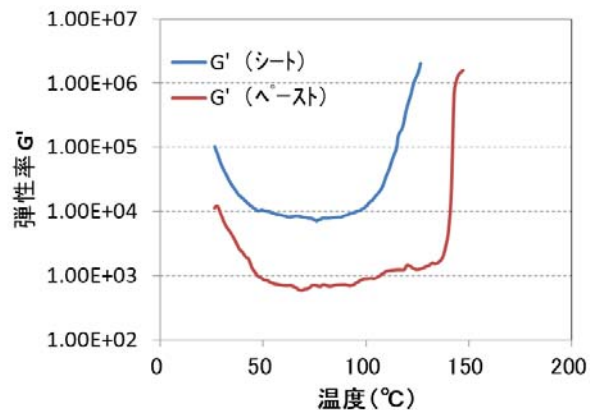
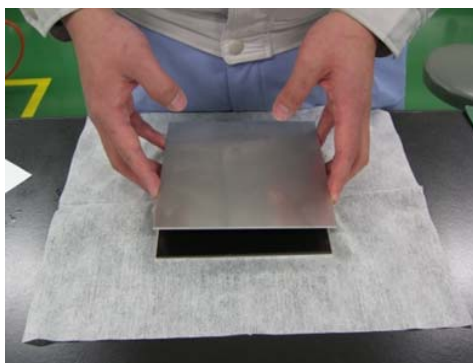


図 2-3-2 隙間埋め材昇温時のレオロジー特性

昇温速度=3°C/min

ペースト状、シート状どちらも硬化前に弾性率が下がるため、オートクレープ中で脱泡効果が期待できる。隙間埋め材を口150mmのアルミ基材2枚の間に厚さ2mmの隙間埋め材を施工し、オートクレープで硬化を行った後、気泡混入率の評価を行った。施工の様子を図2-3-3に、条件を図2-3-4に示す。



(a)隙間埋め材を施工



(b)オートクレープで硬化

図 2-3-3 硬化試験の写真

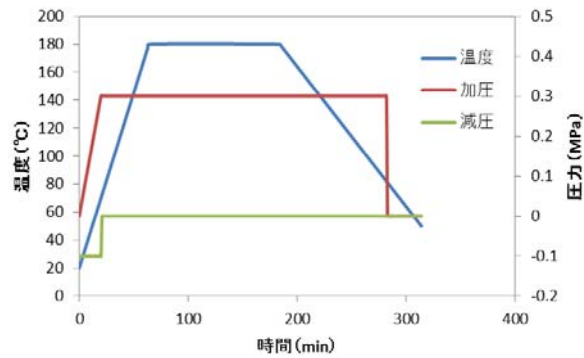
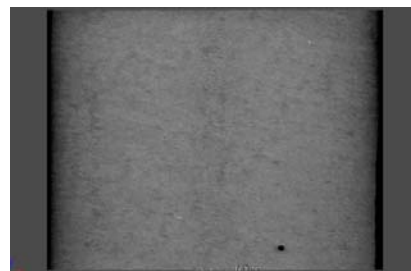


図 2-3-4 オートクレープ条件

硬化体の面内方向の断面をX線CTで確認した結果を図2-3-5に示す。結果より、硬化後の気泡含有率はペースト状、シート状共に2%以下であった。また、懸念していた隙間埋め材/基材界面への気泡混入は殆ど見られなかった。



(a)ペースト状隙間埋め材/基材界面
(気泡含有率 0.2%)



(b)ペースト状隙間埋め材中央面
(気泡含有率 0.1%)



(c)シート状隙間埋め材/基材界面
(気泡含有率 0.2%)



(d)シート状隙間埋め材中央面
(気泡含有率 1.0%)

図 2-3-5 X線CT観察

面内方向の断面、視野角約 25mm×15mm

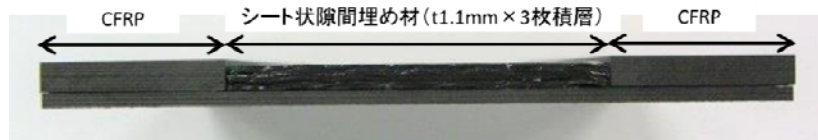
【3. 隙間埋め材の工程時間短縮化の課題への対応】

シート状隙間埋め材を用いてCFRPへの施工検討を行った。曲面への施工は容易で、かつ積層して使用することも可能であった（図3-1-1）。



(a)曲面への施工

※コ形内側



(b)積層して施工

図 3-1-1 CFRPへの施工検討

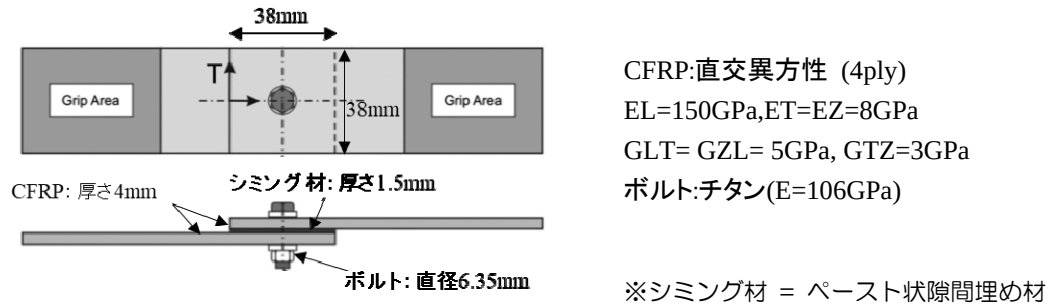
航空機隙間埋め工程のフローを図3-1-2に示す。シート状隙間埋め材はソリッドシムの代替として厚い隙間にも使用できるため、ソリッドシムの外注に必要なリードタイムの短縮が期待できる。また、施工性が良く作業効率の向上が期待できるため、隙間埋め工程時間の半減が期待できる。



図 3-1-2 施工工程フロー

【4. 川下二ーズを踏まえた隙間埋め材の品質評価技術の確立への対応】

隙間埋め材のボルトに対する影響を確認するため、ボルト接手をモデルとして応力解析を行った。解析モデルを図4-1-1に示す。



※ J.X. Dholeほか "Study of the effect of liquid stain on single lap joint using 3D Digital Image Correlation" Composite Structures, 96(2015), 216-225. モデル参照

図 4-1-1 ボルト接手のモデル

ボルトの応力分布を図4-1-2に、ボルト中心部の応力分布を図4-1-3に示す。解析の結果、弾性率の高い隙間埋め材を使用することでボルトにかかる応力を軽減できることを確認した。

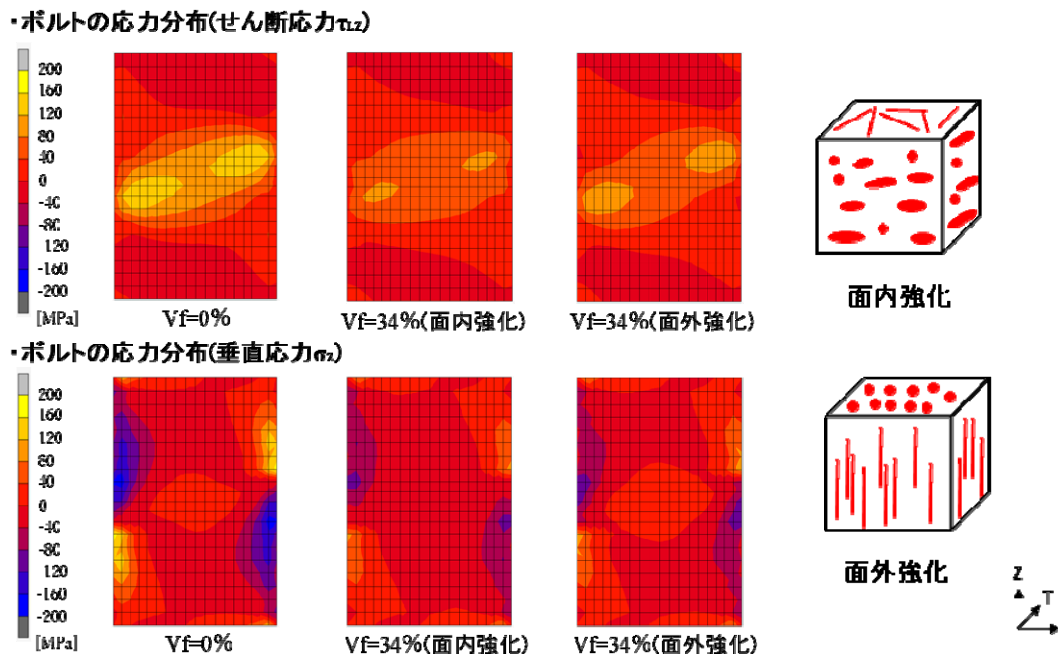


図 4-1-2 ボルトの応力分布

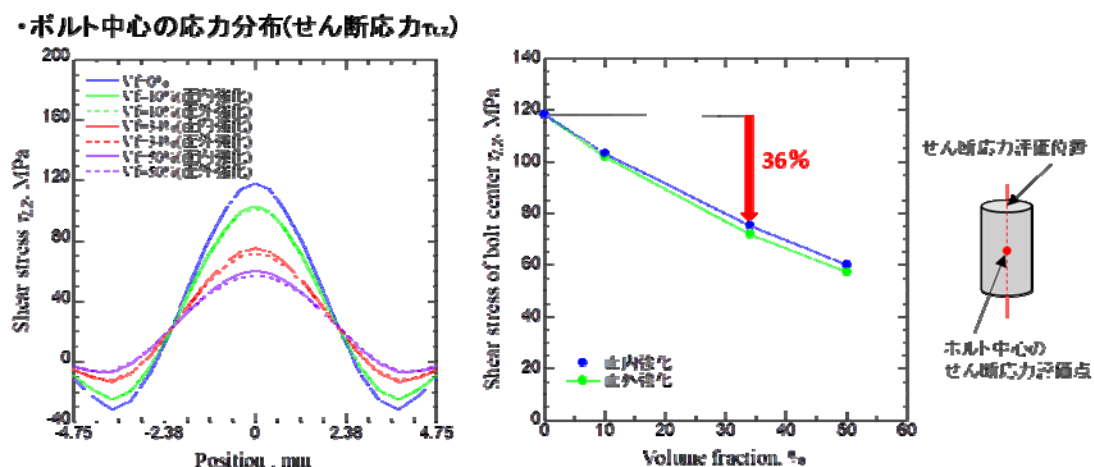


図 4-1-3 ボルト中心部のせん断応力に及ぼす隙間埋め材の効果

ニーズの高いシート状隙間埋め材を優先して製品化に向けた品質評価を行っている。試作品の評価結果を表 4-1-1 に示す。基準値と許容値については、川下企業と協議の上決定する。

表 4-1-1 シート状隙間埋め材の評価結果

供試体	タック (N) ※ ₁	引張せん断 強度 (MPa) ※ ₂		ボイド率 (%) ※ ₃	引張強度 (MPa)	引張弾性率 (GPa)
		1mm 厚	2mm 厚			
シート状隙間 埋め材	5~20	23.4 (MF)	19.6 (MF)	0.5※ ₂	460	45

※₁ 23℃における養生時間に依存 (7~14日)、タックテストで測定

※₂ エポキシ CFRP を基材として使用

※₃ オープンで硬化した後に断面観察で評価

最終章 全体総括

（１）研究開発成果

航空機のCFRP部材間に生じる隙間埋めに適する高弾性率・高強度隙間埋め材を開発した。硬化前は適度な流動性（又は柔軟性）を有するため、隙間の大小や形状に関わらず使用することが可能である。一方で硬化後は高弾性率かつ高強度を有するため、高度な接着接合構造が求められる航空機部材への使用に適していると考えられる。ペースト状隙間埋め材はリキッドシムの代替として、シート状隙間埋め材はソリッドシム代替として有用である。また、接着性が高いためCFRP用の高強度接着剤・補修材としての応用も期待できる。

（２）研究開発後の課題及び事業化展開

航空機用途への採用には航空機メーカーの認証取得等が必要となるため、川下企業と連携して認証に向けた対応を進める。航空機以外の用途展開として自動車向けに紹介・評価を開始頂いており、客先の要望を踏まえて開発を進める。客先評価により改良が必要となれば対応を行う。他の業界に対しても継続して紹介し用途展開に努める。採用後の製造を見据えて、CFRPメーカー等と連携して量産体制の準備を進める。