

【公開版】

平成 28 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

「航空機用薄肉部品の切削加工時に発生する工作物変形型びびり振動の
抑制技術の開発」

研究開発成果等報告書

平成 29 年 5 月

担当局 近畿経済産業局
補助事業者 公益財団法人奈良県地域産業振興センター

目 次

| | | |
|-------|-----------------------------|----|
| 第1章 | 研究開発の概要 | 3 |
| 1-1 | 研究開発の背景・目的 | 3 |
| 1-2 | 研究の目標 | 4 |
| 1-3 | 研究体制 | 5 |
| 1-4 | 成果概要 | 7 |
| 1-5 | 当該研究開発の連絡窓口 | 7 |
| 第2章 | 本論 | 8 |
| 2-1 | 【1. びびり振動予測技術の開発】 | 8 |
| 2-1-1 | 【1-1】「振動のしやすさ」算出方法の確立 | 8 |
| 2-1-2 | 【1-2】びびり振動発生限界の同定 | 10 |
| 2-2 | 【2. びびり振動抑制装置の開発】 | 11 |
| 2-2-1 | 【2-1】制振バンドの製品化試作 | 12 |
| 2-2-2 | 【2-2】断面変形抑制型制振装置の開発 | 13 |
| 2-3 | 【3. びびり振動抑制技術の普遍化】 | 17 |
| 2-3-1 | 【3-1】大口径対応 | 17 |
| 2-3-2 | 【3-2】長尺対応 | 19 |
| 2-3-3 | 【3-3】難加工材対応 | 20 |
| 第3章 | 全体総括 | 22 |

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・目的

航空機産業においては、機体の軽量化が求められ、部品の中空化や薄肉化、CFRP 等の複合材の導入等が進められている。例えば、ジェットエンジンのタービンケースは、軽量化による燃費向上を狙って、肉厚が 10mm 以下の薄肉円筒形状となっている。その結果、工作物の曲げ剛性が低くなり、切削加工中にびびり振動を発生しやすくなっている。加えて、耐熱合金やチタン合金等の難加工材料が使用される場合は、さらにびびり振動が発生しやすくなる。



ジェットエンジン全体図

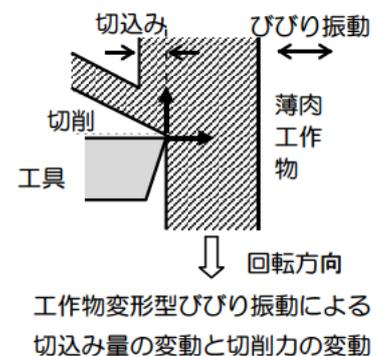


タービンケース



中空軸

びびり振動が発生すると、切込み量が変動して面粗さが大きくなる。また、切削力も大きく変動するので、工具が異常摩耗し寿命が短くなる。びびり振動の発生を抑制するため、現状ではやぐら状治具などを用いて工作物の曲げ剛性を高くし対応している。しかし、段取り時間が増える上に、びびり振動抑制効果が十分でない場合がある。その場合、やむを得ず切削速度を下げている。切削速度の低下は加工時間の増加をもたらす、航空機部品の高コストの主要因となっている。そこで、びびり振動の発生を抑制して、中実工作物と同一の切削速度での加工を実現し、薄肉円筒工作物の加工における生産性の向上をめざした。



1-2 研究の目標

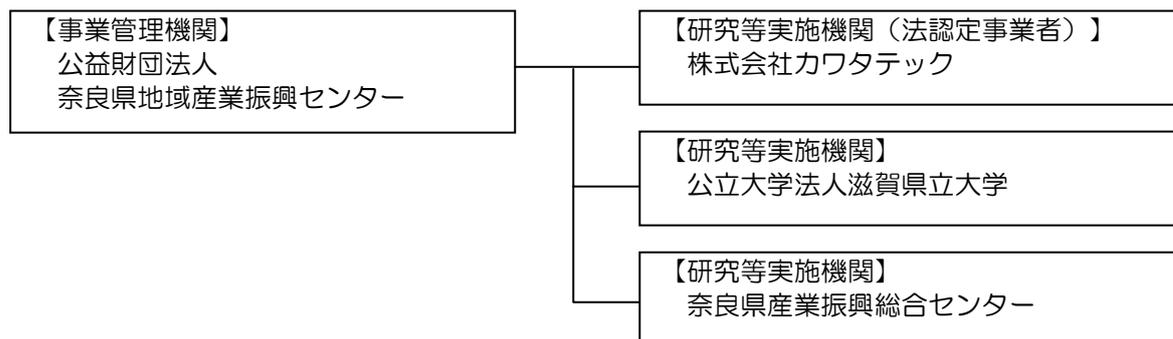
本研究開発では、工具接触点における工作物の振動のしやすさに着目することで、合理的に対策を立案し、切削速度を落とすことなく、びびり振動を抑制する技術を開発する。それにより、薄肉工作物に生じる工作物変形型びびり振動を抑制し、薄肉工作物加工の生産性を向上させる事を目指す。

具体的な目標を下記に記す。

- A) 工作物の直径、軸長、肉厚から、工具接触点における薄肉工作物の「振動のしやすさ（＝振動変位／加振力）」を算出し、びびり振動の発生の有無と振動モードを予測する技術を開発する。
- B) 振動モードに合わせて設計した制振装置で、振動のしやすさの実測値を 10 分の 1 以下にする。
- C) 中実工作物と同一の切削速度で加工したときのびびり振動発生限界肉厚を 5 分の 1 以下にする。

研究開発は、3 つのテーマに沿って実施する。最初に小型工作物を対象とした【1. びびり振動予測技術の開発】を実施し、次に、開発した予測技術を用いて【2.びびり振動抑制装置の開発】を実施する。最後に、予測技術と抑制技術を実際の航空機エンジン部品を想定した大口径や難加工材に展開する【3.びびり振動抑制技術の普遍化】を行う。

1-3 研究体制



管理員及び研究員

【事業管理機関】 公益財団法人奈良県地域産業振興センター

| 氏名 | 所属・役職 |
|-------|---------------------|
| 杉山 淳一 | 事業化推進課 課長 |
| 塚本 雅俊 | 事業化推進課 係長 |
| 山田 裕士 | 事業化推進課 事業化推進コーディネータ |
| 木村 智子 | 事業化推進課 嘱託 |

【研究等実施機関（法認定事業者）】 株式会社カワタテック

| 氏名 | 所属・役職 |
|-------|-----------------------|
| 川田 昌宏 | 代表取締役社長 【統括研究代表者（PL）】 |
| 原田 岳志 | 技術開発課 課長 |
| 松本 拓哉 | 技術開発課 |

【研究等実施機関】 公立大学法人滋賀県立大学

| 氏名 | 所属・役職 |
|--------|--------------------------------|
| 栗田 裕 | 工学部機械システム工学科 教授 【副統括研究代表者（SL）】 |
| 中川 平三郎 | 工学部機械システム工学科 特任教授 |
| 田邊 裕貴 | 工学部機械システム工学科 教授 |
| 大浦 靖典 | 工学部機械システム工学科 准教授 |
| 田中 昂 | 工学部機械システム工学科 助教 |

【研究等実施機関】奈良県産業振興総合センター

| 氏名 | 所属・役職 |
|-------|------------------|
| 梅本 博一 | 生活・産業技術研究部 指導研究員 |

【アドバイザー】

| 氏名 | 所属・役職 |
|--------|--|
| 村木 俊之 | ヤマザキマザック株式会社 技術本部 ソリューション開発部 主席 |
| 山路 伊和夫 | 国立大学法人京都大学 工学研究科技術部 マイクロエンジニアリング専攻 技術室長 |

1-4 成果概要

【1. びびり振動予測技術の開発】

FEMによる周波数応答解析で、実物の薄肉工作物なしで「振動のしやすさ」を算出できるようになった。また、FEMによる周波数応答解析で求めた「振動のしやすさ」からびびり振動発生の有無と発生するびびり振動の振動モードを予測することができるようになった。

【2. びびり振動抑制装置の開発】

制振バンドを製品化するための試作と改良を行った。対策なしの場合と比較して振動のしやすさを10分の1以下にし、びびり振動発生限界肉厚を5分の1以下にする目標達成と、実際の使用を想定した改良を実施した。

円筒工作物の断面変形を抑制する制振装置を開発し、対策なしの場合と比較して振動のしやすさを10分の1以下にする目標とびびり振動発生限界肉厚を5分の1以下にする目標を達成できた。さらに、制振装置取り付けによる変形を真円度0.1mm以下にする目標も実現した。

【3. びびり振動抑制技術の普遍化】

大口径工作物においても、【1. びびり振動予測技術の開発】で開発した予測技術が適用できることがわかり、さらに【2. びびり振動抑制装置の開発】で獲得したびびり振動抑制技術を活用した制振装置の抑制効果が確認できた。

長尺工作物においては、実験を実施した機械の減衰の影響で当初に予想していた1次モードの振動が発生しなかったが、【1. びびり振動予測技術の開発】で開発した予測技術が適用と、

【2. びびり振動抑制装置の開発】で獲得したびびり振動抑制技術の適用が確認できた。

難加工材に対しても、【1. びびり振動予測技術の開発】で開発した「びびり振動の発生を予測する技術」は、材質が異なっても有効であることが示された。

1-5 当該研究開発の連絡窓口

株式会社カワタテック 代表取締役社長 川田昌宏

〒633-0047 奈良県桜井市橋本48-1

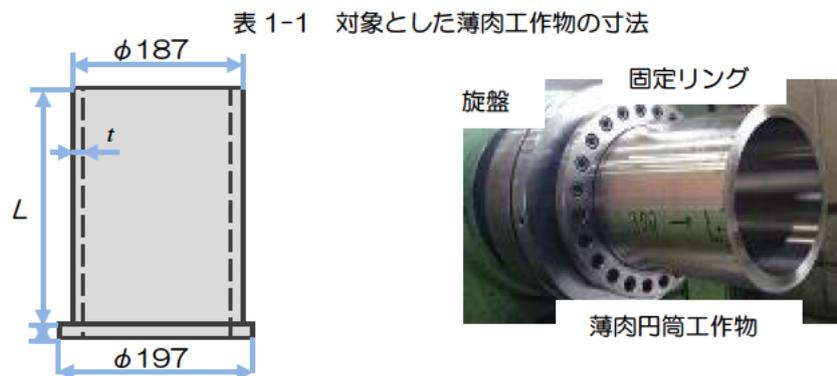
電話：0744-45-0360、FAX:0744-45-0364

第2章 本論

2-1 【1. びびり振動予測技術の開発】

薄肉工作物の寸法から、びびり振動の発生の有無と振動モードを予測する技術を開発する。

対象とした工作物は、ステンレス製薄肉円筒で直径 D 187 mm、軸長 L 100~300 mm である。用いた工作物の軸長 L と肉厚 t の組み合わせを表 1-1 に示す。



| 軸長 L [mm] | 肉厚 t [mm] |
|-------------|-----------------------------|
| 100 | 2, 2.5, 3, 4, 5, 6, 7 |
| 125 | 2.5, 3, 4, 5, 6, 7, 8 |
| 150 | 2, 2.5, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 |
| 175 | 5, 6, 7, 8, 9, 10 |
| 200 | 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 |
| 225 | 10, 11, 12, 13, 14 |
| 250 | 9, 10, 11, 12, 13 |
| 275 | 10, 11, 12, 13, 14 |
| 300 | 10, 11, 12, 13, 14, 15 |

2-1-1 【1-1】 「振動のしやすさ」算出方法の確立

<技術的目標値>

工作物と工具との間の相対運動のしやすさを表す、工具接触点における薄肉工作物の「振動のしやすさ」を工作物の寸法と工具接触位置から、FEMによる周波数応答解析で算出できるようにする。

＜具体的実施内容＞

表 1-1 に示したすべての薄肉工作物に対して、打撃加振点と振動計測点を一致させて、打撃加振試験を行った。薄肉工作物の固有振動数、固有振動モード、減衰比に加えて、打撃加振点における「振動のしやすさ」（力から変位までの伝達特性）を、工作物先端を工具接触点として測定した。その後、FEMによる固有値解析と周波数応答解析を行い、打撃加振試験で得られた振動特性とFEMで算出された結果を比較した。

その結果、すべての対象工作物において打撃加振試験結果とFEMによる解析結果がほぼ同じ傾向を示した。FEM周波数応答解析を行うことにより、薄肉工作物の寸法から固有振動数、固有振動モード、「振動のしやすさ」を精度よく算出できるようになったといえる。

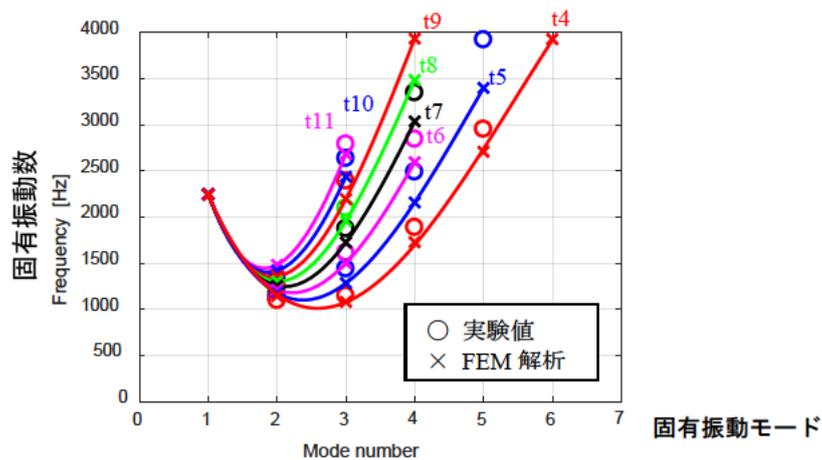


図 1-1 L200 固有振動数 (実験値と FEM 解析値比較)

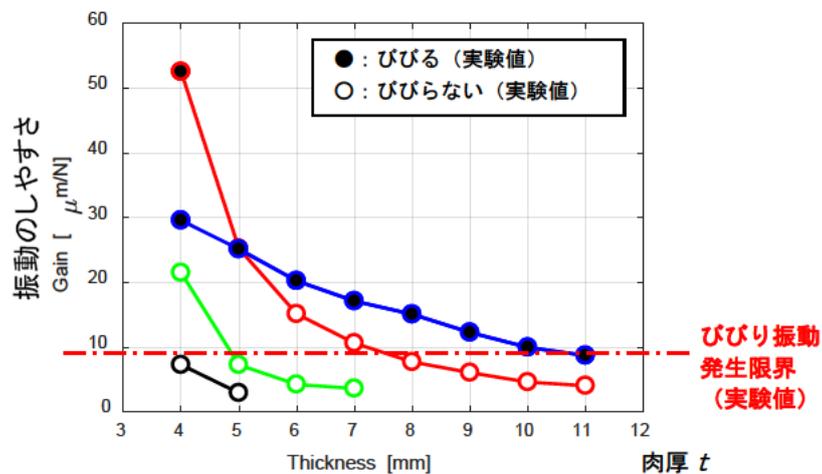


図 1-2 L200 円筒工作物 振動のしやすさ (実験値)

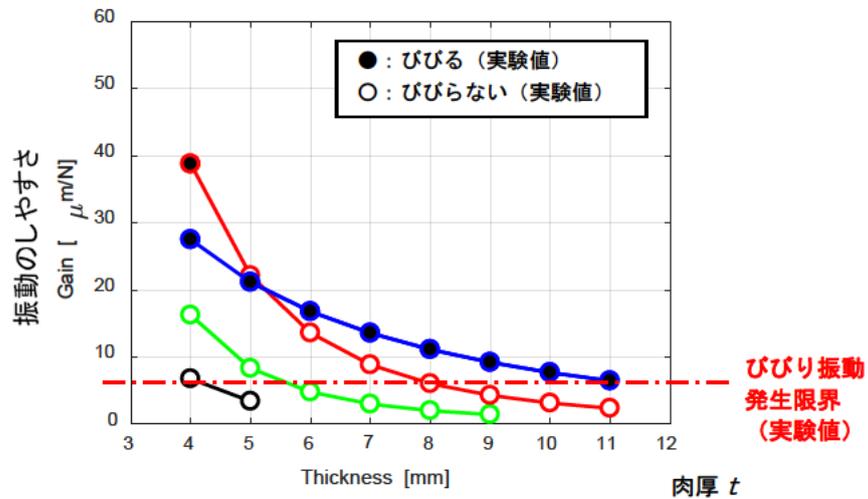


図 1-3 L200 円筒工作物 振動のしやすさ (解析値)

2-1-2 【1-2】 びびり振動発生限界の同定

<技術的目標値>

FEM解析で求めた「振動のしやすさ」がどの程度の大きさになると、びびり振動が発生するのか、びびり振動の発生限界となる「振動のしやすさ」を、切削実験から同定する。

<具体的実施内容>

表 1-1 に示したすべての薄肉工作物に対して、工作物先端を切削加工し、びびり振動が発生する工作物寸法（軸長 L 、肉厚 t ）を明らかにした。びびり振動の発生の有無、びびり振動の周波数、びびり振動モード、びびり振動の発生限界を測定した。

- 切削条件： 外周切削
 切削速度 100m/min (180rpm)
 切込み量 0.10mm
 送り量 0.05mm/rev

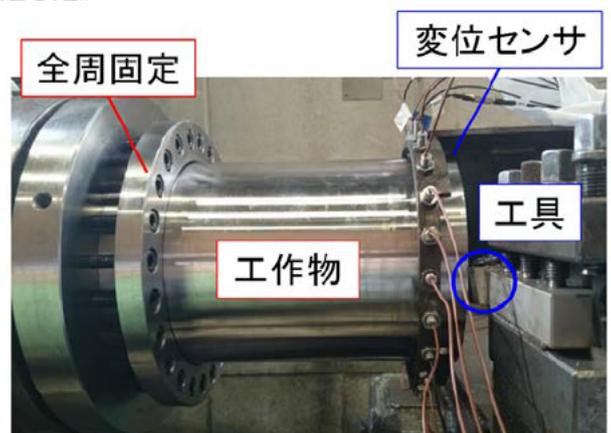


図 1-4 びびり振動発生の測定

その結果、びびり振動の周波数と振動モードは、工作物単体の固有振動数と固有振動モードに一致し、びびり振動は、「振動のしやすさ」が最も大きくなる固有振動で発生していることがわかった。また、びびり振動の発生限界は、「振動のしやすさ」が最も大きくなる固有振動の「振動のしやすさ」の値で整理できることがわかった。

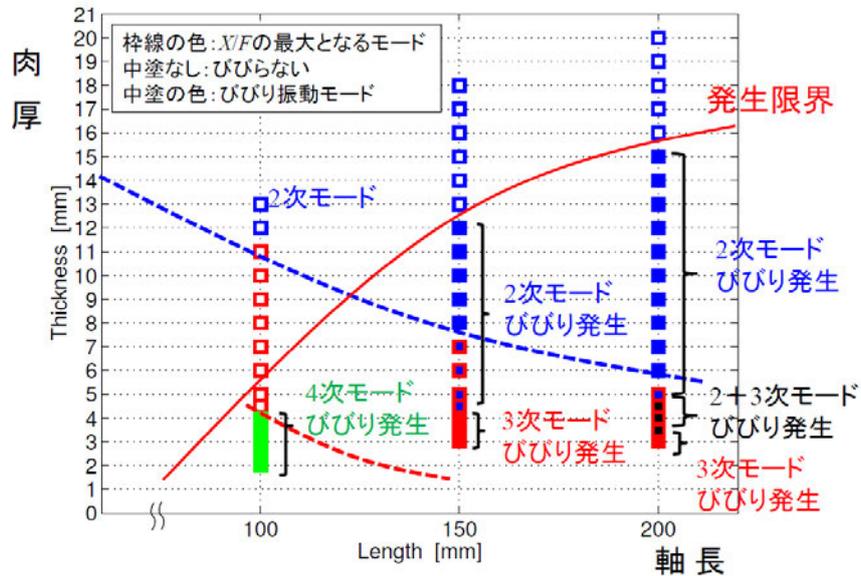


図 1-5 振動のしやすさが最大となる固有振動モード（FEM 解析）とびびり振動の発生

したがって、対象工作物の加工に対し、工作物単体の固有振動数、固有振動モードおよび「振動のしやすさ」がわかれば、びびり振動の発生を予測する事ができ、さらに、「【1-1】「振動のしやすさ」算出方法の確立」の成果より、FEM周波数応答解析を行えることにより、薄肉工作物の寸法からびびり振動の発生を予測する事ができると言える。

また、びびり振動の原因となる固有振動がもつ「振動のしやすさ」をあらかじめ小さくすることができれば、びびり振動の発生を抑制できることとなる。びびり振動は、比較的高い周波数で発生するため、減衰を付与する振動抑制対策により効果的に「振動のしやすさ」を低減できる。

2-2 【2. びびり振動抑制装置の開発】

FEM解析で予測したびびり振動を発生メカニズムに基づき合理的に抑制する制振装置を開発する。表1-1に示したすべての薄肉工作物に対して、「振動のしやすさ」の実測値を10分の1以下にし、びびり振動発生限界肉厚を5分の1以下にすることを目標とする。

2-2-1 【2-1】 制振バンドの製品化試作

＜技術的目標値＞

これまでに開発し特許出願をした制振バンドを製品化するための試作と改良を行う。薄肉工作物の軸長、肉厚、びびり振動モード別に、制振バンドを最適設計する手法を確立する。

＜具体的実施内容＞

制振バンドの改良として、着脱方法の改善、工作物との接触時のキズ防止のための内側面の材料変更、固定安定化のための構造変更（締付バンドと制振バンドの2段構造）を行った。制振効果の確認は、【1. びびり振動予測技術の開発】で使用した直径 $D187\text{mm}$ 、長さ $L200\text{mm}$ 、肉厚 $t5\text{mm}$ のツバ付円筒工作物を対象とし、制振なしの10分の1以下の「振動のしやすさ」と、びびり振動発生限界肉厚を5分の1とする目標の達成を確認した。なお、制振なしでは、肉厚 15mm でびびり振動の発生が開始したのに対し、対策後は 1mm でもびびり振動は発生しなかった。

切削加工後の薄肉円筒工作物の加工状況及び加工後の表面写真を図 2-2 及び図 2-3 に示す。



図 2-1 改良後の制振バンド



図 2-2 切削実験写真



図 2-3 加工後の表面

2-2-2 【2-2】 断面変形抑制型制振装置の開発

びびり振動発生 の 要因として「工作物と工具との間の相対運動」に着目し、効果的にびびり振動の発生を抑制する制振装置を開発する。従来のやぐら型治具より、着脱が容易で真円度を出しやすい構造を開発する。 着脱時間：3分以内 真円度：0.1mm以下（ $D200$ mm時）

<具体的実施内容>

【1. びびり振動予測技術の開発】で使用した直径 $D187$ mm、長さ $L200$ mm、肉厚 $t5$ mm のツバ付円筒工作物を対象とし、合計 5 種類の制振装置案を設計製作した。それらの制振装置案に対して、打撃加振試験と切削実験を実施し、振動抑制効果、着脱性、真円度を基準に最も最適な制振装置を選定した。

その結果、積層した減衰板中央部に球状接触部を接続し、その接触部を円筒内側面に軽く押し当てることにより円筒工作物に減衰を付加することのできる制振装置を開発した。

制振装置は、加工対象とする $D187$ mmの円筒の内側面を、放射状に設置された 12 個の球状接触部で軽く当てて減衰を付加することによりびびり振動を抑制することができる装置である。

また、先端部のレバーと上部中央の六角ネジ部を回すことにより、径方向と軸方向に 12 個の接触部を簡単に移動することができる構造となっている。なお、工作物部の固定については、ツバ部をクランプ治具で押さえる構造とした。

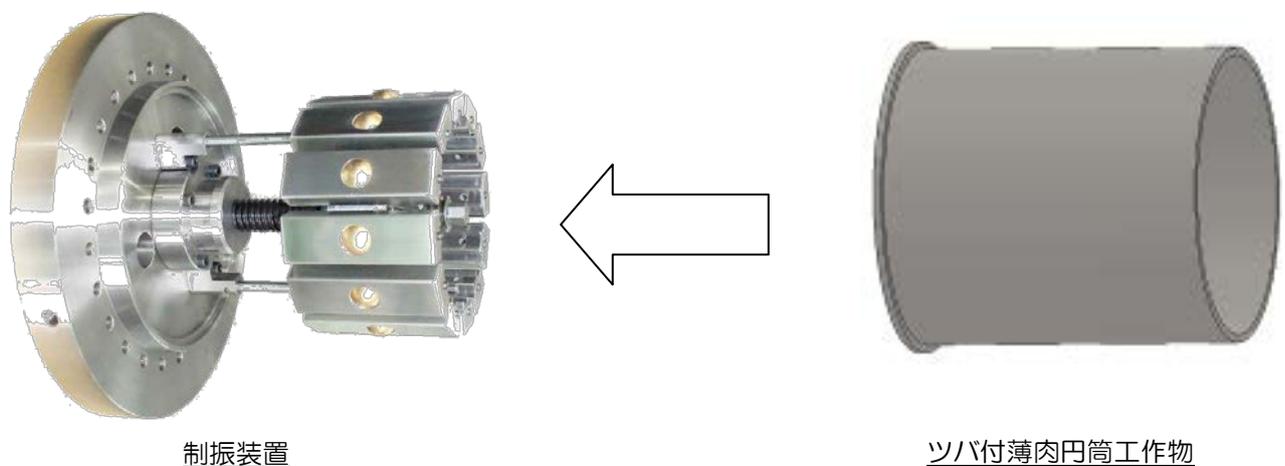


図 2-4 開発した制振装置と円筒工作物イメージ

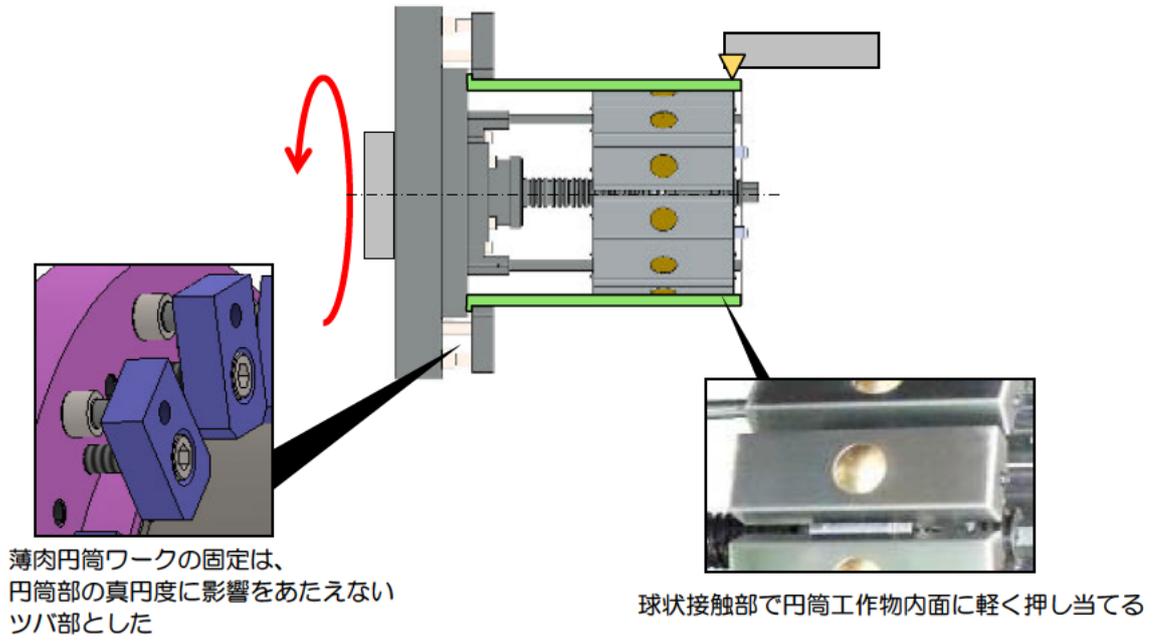


図 2-5 制振装置 各部説明

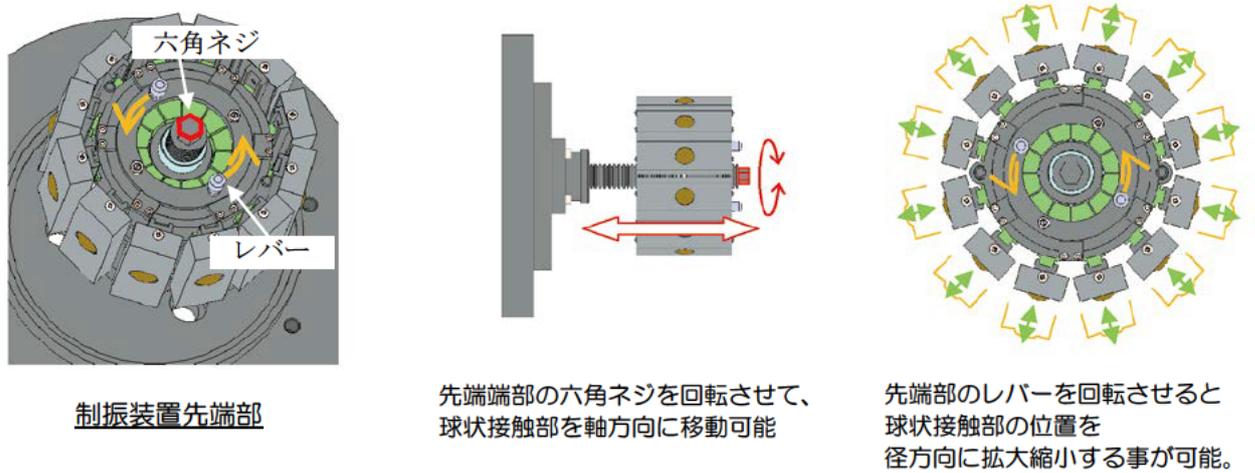


図 2-6 球状接触部の移動機能

【公開版】

制振装置に対する打撃加振試験と切削実験の結果については、「振動のしやすさ」は、目標の制振なしの 10 分の 1 以下を達成した。切削実験の結果についても、制振装置なしでのびびり振動が発生し始める発生限界肉厚の 15 mm に対して 1 mm までびびり振動なしに切削することができ、それぞれ目標を達成することができた。

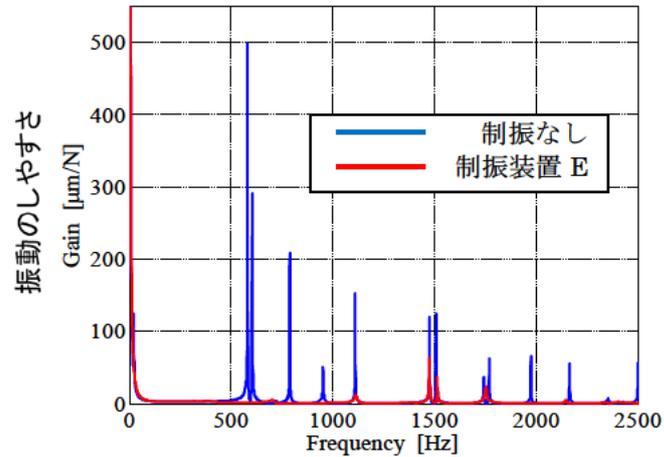


図 2-7 制振装置 E と制振なしの場合の「振動のしやすさ」比較

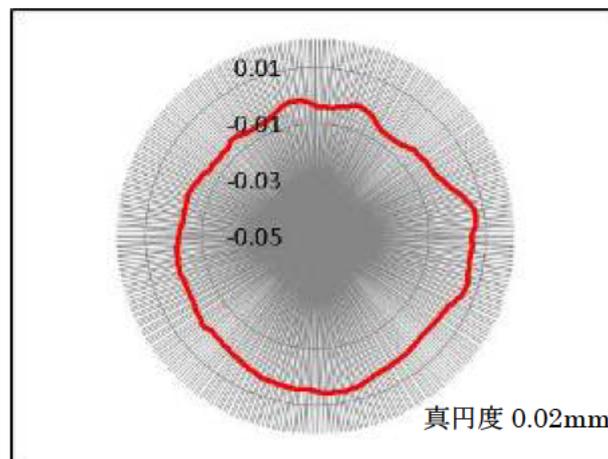


図 2-8 制振装置 E 取付時の真円度への影響



図 2-9 肉厚 1mm の薄肉円筒工作物に対する切削実験写真と加工後の工作物表面

制振装置の球状接触部を押し当てる位置による制振効果への影響を調べるために、工作物先端からの位置を 5 mm、40 mm、100 mm に変化させたときの制振効果を比較した。

図 2-10 より、工作物先端から 40mm の位置に取り付けた場合に、工作物先端から 5mm 及び 100mm の位置に取り付けた場合と比べて 5-1 次モードにおいても制振効果が小さくなっていることがわかる。図 2-11 に示したように、5-1 次モードでは軸方向にも変形しており、取り付け位置が 40mm の位置が 5-1 次モードでの軸方向における変形の節の付近であったため制振効果が小さくなったと考えられる。

取付け位置は、FEMによる対象工作物のびびり振動モードを予測に基づいて決定する必要があることがわかった。

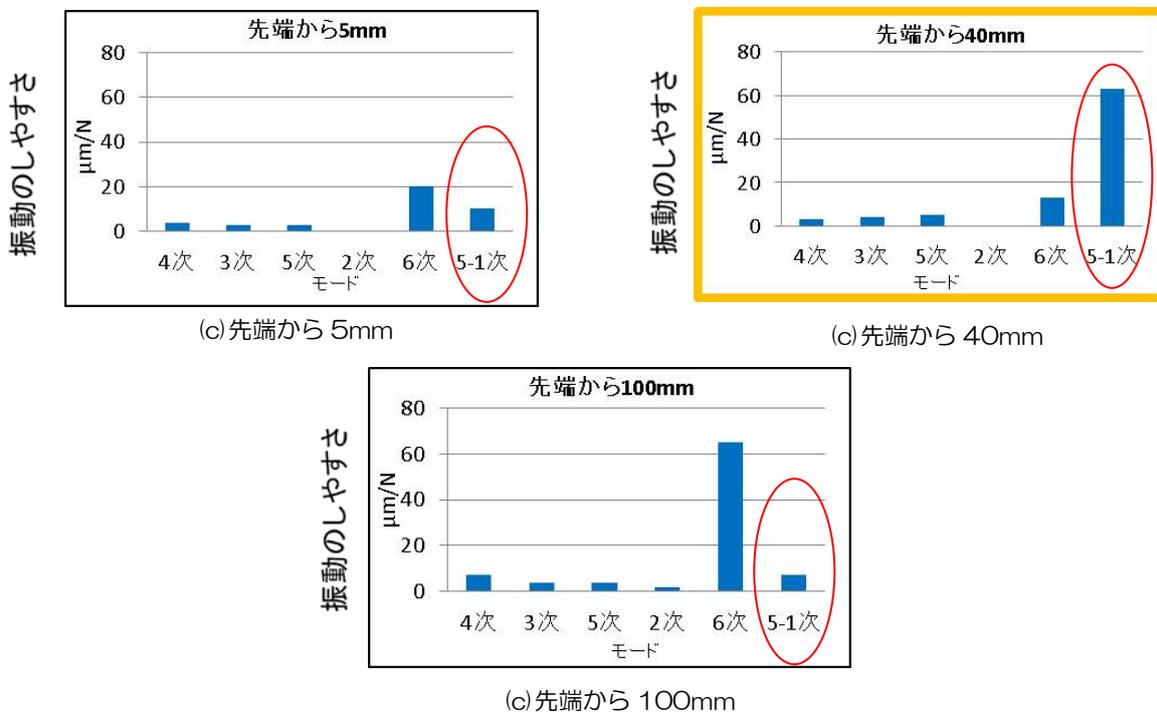


図 2-10 制振装置 E における制振効果測定結果（押付位置による影響）

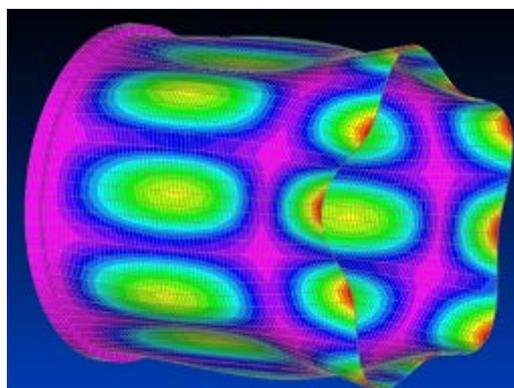


図 2-11 円筒工作物の 5-1 次の固有振動モード解析結果

2-3 【3. びびり振動抑制技術の普遍化】

様々な寸法、材質の工作物に対しても、びびり振動の発生を予測し抑制する技術を確立する。

2-3-1 【3-1】大口径対応

＜技術的目標値＞

直径 D 800mm の大口径工作物に、どのような振動モードをもつびびり振動が発生するのかを明らかにする。また、発生するびびり振動を効果的に抑制できる制振装置を最適設計する手法を確立する。

＜具体的実施内容＞

【1. びびり振動予測技術の開発】で開発した「びびり振動の発生を予測する技術」及び【2. びびり振動抑制装置の開発】で開発した「びびり振動の発生を抑制する技術」が、大口径工作物（直径 D 800 mm）に対しても有効であることを示す。

対象とした大口径工作物は、【1. びびり振動予測技術の開発】と同じくステンレス製薄肉円筒で、直径（内径） D 800 mm、軸長 L 200 mm、300 mm、400 mm である。用いた工作物の軸長 L と肉厚 t の組み合わせを表 2 に示す。なお、工作物は、内径側ツバ部の 48 箇所を押さえて固定した。

表 3-1 対象とした大口径工作物の寸法



| 軸長 L [mm] | 肉厚 t [mm] |
|----------------|----------------------------|
| 200 | 1.5, 2, 3, 4, …… , 14, 15 |
| 300 | 2, 3, 4, …… , 14, 15 |
| 400 | 2.5, 3, 4, …… , 20, 21, 22 |

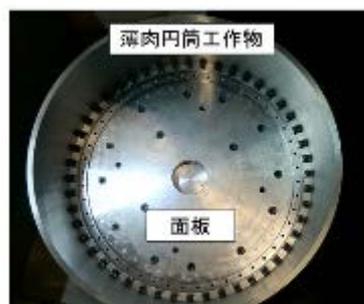


図 3-1 大口径工作物の固定方法

【公開版】

対象となる大口径工作物に対して打撃加振試験を行い、その後、さらに切削して肉厚を小さくしていった。打撃加振試験では、工作物の固有振動数、固有振動モードおよび打撃加振点における「振動のしやすさ」を測定した。切削加工実験では、工作物先端から根元に向かって切削加工し、びびり振動発生の有無、びびり振動モード、びびり振動の発生限界を測定した。さらに、対象となる工作物形状に対して、FEMによる固有値解析、周波数応答解析を行い、固有振動数と固有振動モード、工具接触点における「振動のしやすさ」を算出した。その結果、直径 $D187\text{mm}$ の場合と同様の傾向を示した。

切削条件： 外周切削
 切削速度 100m/min (180rpm)
 切込み量 0.10mm
 送り量 0.05mm/rev

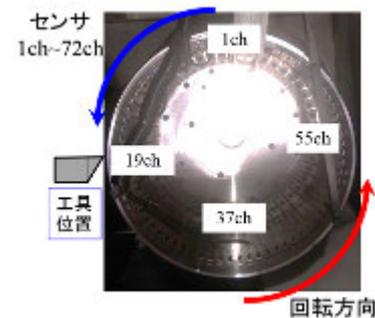


図 3-2 びびり振動発生の測定

さらに、【2. びびり振動抑制装置の開発】で開発した制振装置と同様の機構を採用した大口径工作物対応の制振装置（図 3-3）を開発し、【1. びびり振動予測技術の開発】で得られた予測技術を用いて効果的なびびり振動の抑制を試みた。その結果、制振なしでびびり振動が発生し始めた発生限界肉厚の 5 分の 1 以下である肉厚までびびり振動なしで加工することができ、大口径工作物に対しても効果的に振動を抑制する技術が開発された。



図 3-3 大口径制振装置

表 3-2 大口径工作物におけるびびり振動発生開始肉厚の比較

| 軸長 L [mm] | 制振装置なし 肉厚 t [mm] | 制振装置付き 肉厚 t [mm] | 制振有り／制振なし |
|----------------|-----------------------|-----------------------|-----------|
| 200 | 8 | 1.5 | 1/5.3 |
| 300 | 10 | 2 | 1/5 |
| 400 | 12 | 2 | 1/6 |

2-3-2 【3-2】長尺対応

＜技術的目標値＞

直径 $D200\text{mm}$ 、軸長 $L300\sim 600\text{mm}$ の長尺工作物に、どのような振動モードを持つびり振動が発生するのかを明らかにする。また、発生するびり振動を効果的に抑制できる制振装置を開発する。

＜具体的実施内容＞

提案時に計画していた対象長尺工作物は、ステンレス製円筒薄肉円筒で、直径 $D187\text{mm}$ 、長さ $L400\text{mm}$ 、肉厚 $t20\text{mm}\sim 16\text{mm}$ であったが、工作機械主軸構造の影響で予測された1次モードの固有振動が測定されなかった。

そこで、工作物直径 $D65$ ($L250$) に縮小して工作物を軽量化し、工作物の振動が面板と主軸を振動させないように対策して再度実験を行ったが、工作機械主軸構造の影響により1次モードのびり振動は発生しなかった。

しかし、肉厚 $t3$ ($D65$) $L250$ において2次モードのびり振動は発生し、制振装置と同様の制振装置を取り付けて切削実験を行ったところ、長尺工作物に対しても同様の抑制対策が有効であることが示された。また、制振装置を用いて打撃加振試験で「振動のしやすさ」を測定した結果、2次モードだけでなく1次モードにも効果があることが確認できた。そこで、1次モードが発生する状況においても、1次モードのびり振動の抑制に効果があると言える。

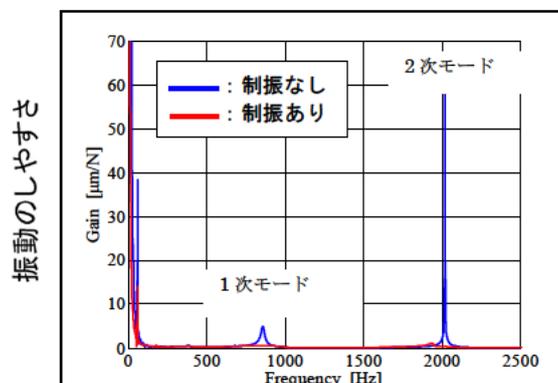


図 3-4 長尺工作物に対する制振効果（打撃加振試験）

2-3-3 【3-3】 難加工材対応

＜技術的目標値＞

ステンレス製工作物に対して開発したびびり振動を予測し抑制する技術が、難加工材（耐熱合金、チタン合金）製工作物にも適用できるようにする。薄肉工作物の材質によって、びびり振動を発生する限界が、どのように変化するかを明らかにする。

＜具体的実施内容＞

工作物の材質は、耐熱合金（インコネル 718）、チタン合金（6AL-4V-Ti）、炭素鋼（S45C）及びステンレス（SUS304）とし、サイズを $D187$ mm、軸長 L 200 mm、肉厚 $t20 \rightarrow 1$ mm とした。端部外径側に設けた幅 5mm、 $t5$ mm のつば部を固定リングと面板で挟み込んで固定した。

対象となる難加工材工作物それぞれに対して打撃加振試験を行い、その後、切削して肉厚を小さくしていった。打撃加振試験では、工作物の固有振動数、固有振動モード及び打撃加振点における「振動のしやすさ」を測定した。さらに、FEM による固有値解析、周波数応答解析を行い、固有振動数と固有振動モード、工具接点における「振動のしやすさ」を算出した。さらに、工作物先端を切削加工し、びびり振動発生の有無、びびり振動モード、びびり振動の発生限界を測定した。その結果、すべての材料において、【1. びびり振動予測技術の開発】と同様の結果となった。

したがって、【1. びびり振動予測技術の開発】で開発した「びびり振動の発生を予測する技術」は、材質が異なっても有効であることが示された。

びびり振動抑制効果についても、開発した制振装置を用い、それぞれ材質の工作物に取り付けて打撃加振試験と切削実験を行い、材料が異なってもびびり振動を抑制できることを試みた。打撃加振試験により測定された「振動のしやすさ」は制振なしの状態ではびびり振動が発生していた 5 次モード以下の振動モードに対して比較した結果、いずれの材料も 10 分の 1 以下を達成した。

切削加工実験の結果、いずれの肉厚と材質においてもびびり振動は発生せず、びびり振動の抑制効果は材質が変わっても適用できることが示された。

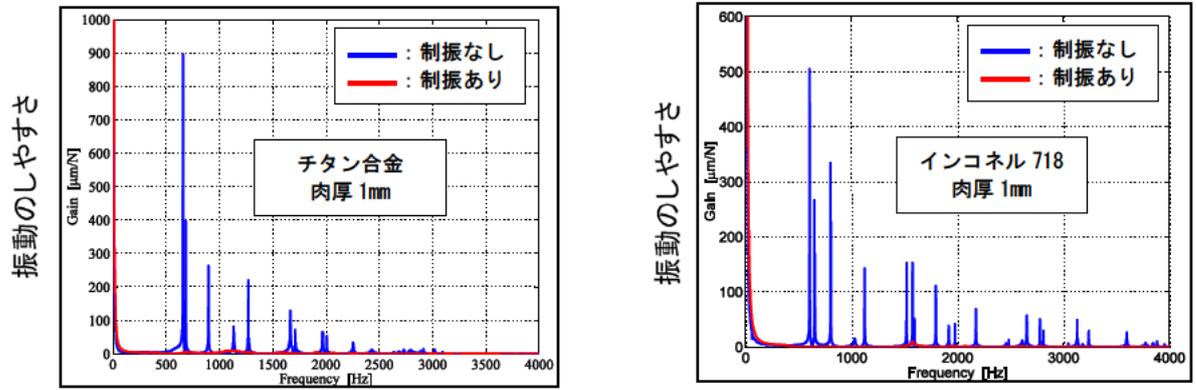


図 3-5 難加工材に対する制振効果（打撃加振試験結果）

第3章 全体総括

平成 26 年度は【1. びびり振動予測技術の開発】の予測技術開発を中心として実施し、【2. びびり振動抑制装置の開発】については、基本構造の検討と比較検討する制振装置案の設計製作を実施した。平成 27 年度には、【2. びびり振動抑制装置の開発】の制振バンドと制振装置の最適設計と【3. びびり振動抑制技術の普遍化】の【3-1】大口径対応を実施し、大口径工作物のびびり振動現象の把握と、抑制装置の開発、効果検証を実施した。平成 28 年度には【3. びびり振動抑制技術の普遍化】における【3-2】長尺対応と【3-3】難加工材対応を実施した。【3-2】長尺対応で予測した 1 次モードの振動が機械減衰により測定できなかったが、それ以外の項目についてはすべて当初の目的を達成できたといえる。

平成 28 年 11 月に開催された第 28 回日本国際工作機械見本市（JIMTOF2017）では、製品装置 E を「ライトタッチサポーター」として命名して、参考出品を行った。さらに、平成 29 年 4 月には第 2 回名古屋航空宇宙機器開発展、10 月のメカトロテックジャパン 2017 など継続的に出品するなど、広くユーザーからの意見を聞きながらさらに開発を続け、事業化を目指していく。

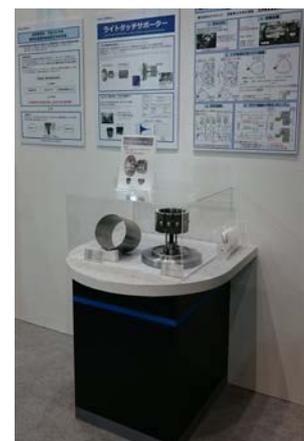


図 4 ライトタッチサポーターチラシ表紙と JIMTOF2017 ブース写真