

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 3 日現在

機関番号：34419

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K03918

研究課題名(和文) 軸方向すべり速度を有する硬化歯車の高面圧時表面温度評価手法の開発

研究課題名(英文) Development of evaluation method of surface temperature at high contact pressure with hardened gears under the condition of the axial sliding speed

研究代表者

東崎 康嘉 (TOZAKI, YASUYOSHI)

近畿大学・理工学部・教授

研究者番号：60610540

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：動力伝達装置に使用される歯車の小型・軽量化により、運転条件は高回転数・高負荷の動向がある。高回転数・高負荷の運転条件では歯面温度が上昇し、歯面温度に関係した摩擦損傷が発生しやすくなるため、運転中の歯面温度を知ることが重要となる。ゼーベック効果を歯車自体に応用した動的熱電対法を用いたはずば歯車の歯面温度計測では、二歯かみ合い時に並列回路になることから正確な歯面温度が計測できなかった。そこで、二枚のはずば歯車の間に絶縁材を挟み込み、歯を交互に研摩した交互欠はずば歯車を用いることで並列回路を解消した。これにより、全かみ合い領域の正確な歯面温度計測に成功し、またその予測手法を明らかにすることができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高回転数・高負荷の運転条件では歯面温度が上昇し、歯面温度に関係した摩擦損傷が発生しやすくなるため、運転中の歯面温度を知ることが重要となる。ゼーベック効果を歯車自体に応用した動的熱電対法を用いたはずば歯車の歯面温度計測では、二歯かみ合い時に並列回路になることから正確な歯面温度が計測できなかった。そこで、二枚のはずば歯車の間に絶縁材を挟み込み、歯を交互に研摩した交互欠はずば歯車を用いることで並列回路を解消した。これにより、全かみ合い領域の正確な歯面温度計測に成功し、またその予測手法を明らかにすることができた。今回の研究成果により、歯車装置の高速設計に対する知見を与えることができた。

研究成果の概要(英文)：As the gears become smaller and lighter, the operating conditions are becoming higher in terms of speed and load. It is important to know the tooth surface temperature because the tooth surface temperature rises under high speed and high load conditions, and frictional damage related to the tooth surface temperature is more likely to occur. In the measurement of the tooth surface temperature of helical gears using the dynamic thermocouple method, which applies the Seebeck effect to the gears, it was not possible to measure the tooth surface temperature accurately because of the parallel circuit when the two gears mesh. The parallel circuit was eliminated by using combined lacked helical gears, in which an insulating material is sandwiched between two helical gears and the teeth are lacked alternately. As a result, accurate measurement of tooth surface temperature in the entire meshing area was successfully achieved, and the prediction method was clarified.

研究分野：機械要素

キーワード：はずば歯車 ゼーベック効果 動的熱電対 歯面温度 真空浸炭

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

自動車の低燃費化により、変速機などに用いられる歯車には小型・軽量化が要求されている。それに伴い、運転条件が大容量化し歯面温度が上昇しやすく、歯面に歯面温度と密接な関係にあるスカuffingと呼ばれる摩擦損傷が発生しやすくなる。しかし、どのくらいの歯面温度でスカuffingが発生するかなどは分かっていない。そのことを明確にするためにも正確な歯面温度が必要となる。

2. 研究の目的

- (1) はずば歯車において全かみ合い領域での、歯先から歯元まで連続的な歯面温度計測。
- (2) 歯面温度計測値と二次元接触の歯面温度上昇式である Blok の式⁽¹⁾を用いて算出した歯面温度予測値の比較。
- (3) 接触線長さの変化による歯面温度変化の調査。

3. 研究の方法

- (1) 異種金属を接続し接続部に温度差を設けると熱起電力が発生する現象であるゼーベック効果を、歯車自身に応用した動的熱電対法と呼ばれる歯面温度計測方法を用いて、S55C はずば歯車と SUS316 はずば歯車の歯面温度を計測した。しかし、動的熱電対法を用いてはずば歯車対の歯面温度を計測する場合、1 歯かみ合い時では直列回路となり問題はないが、2 歯かみ合い時では並列回路となり 2 点平均の歯面温度が計測され正確な歯面温度ではない。そこで、S55C はずば歯車を 2 枚のはずば歯車の間に絶縁材を挟み込み、交互に歯車の歯を研磨した S55C 交互欠はずば歯車⁽²⁾を作製することで、2 歯かみ合い時の並列回路を解消した。以下の図 1 に S55C 交互欠はずば歯車を示し、左側を歯車 A、右側を歯車 B とした。その結果、高面圧下で全かみ合い領域におけるはずば歯車の歯面温度を計測した。

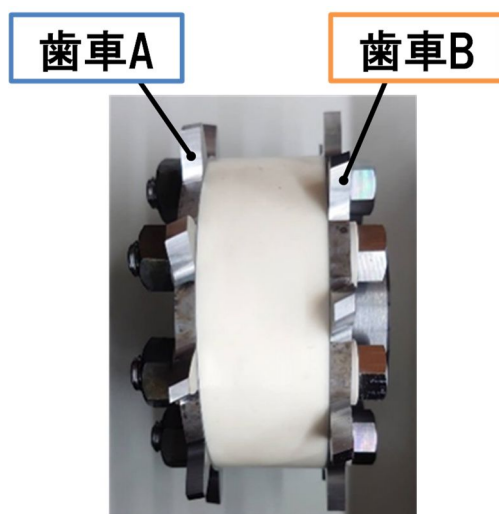


図 1 S55C 交互欠はずば歯車

- (2) 計測した歯面温度が正確か確かめるため、二次元接触の歯面温度上昇式である Blok の式を用いて瞬間歯面温度 θ を算出し、歯面温度予測値を比較した。以下の式(1)に Blok の式を示す。

$$\theta = 0.83 \frac{\mu w v_s}{(\sqrt{\lambda_1 \gamma_1 c_1 v_1} + \sqrt{\lambda_2 \gamma_2 c_2 v_2}) \sqrt{b'}} \quad (1)$$

ここで、S55C と SUS316 を使用したので、Blok の式において熱伝導率 λ はそれぞれ $\lambda_1 = 45.3$ [W/(m·K)], $\lambda_2 = 16.3$ [W/(m·K)], 密度 γ は $\gamma_1 = 7.80 \times 10^{-3}$ [g/mm³], $\gamma_2 = 7.82 \times 10^{-3}$ [g/mm³], 比熱 c は $c_1 = 460$ [J/(kg·K)], $c_2 = 494$ [J/(kg·K)]と定まり、摩擦係数 μ , 単位歯幅法線荷重 w , すべり速度 v_s , 駆動側すべり速度 v_1 , 被動側すべり速度 v_2 , 接触半幅 b' は試験条件によって異なる。

- (3) はずば歯車の接触線は平歯車と比べ、ねじれ角によって傾いており、かみ合い始め、かみ合い終わりで接触線長さは小さくなる．そこで、接触線長さが変化した箇所の歯面温度上昇と理論式を比較し、接触線長さの変化による歯面温度変化の調査した．

4. 研究成果

- (1) 試験条件 100Nm, 60rpm 時の歯車 1 回転分の試験結果を以下の図 2 に示す．ここで、S はかみ合い始め点、P はピッチ点、E はかみ合い終わり点を示す．また、記載している番号は歯番号を示す．

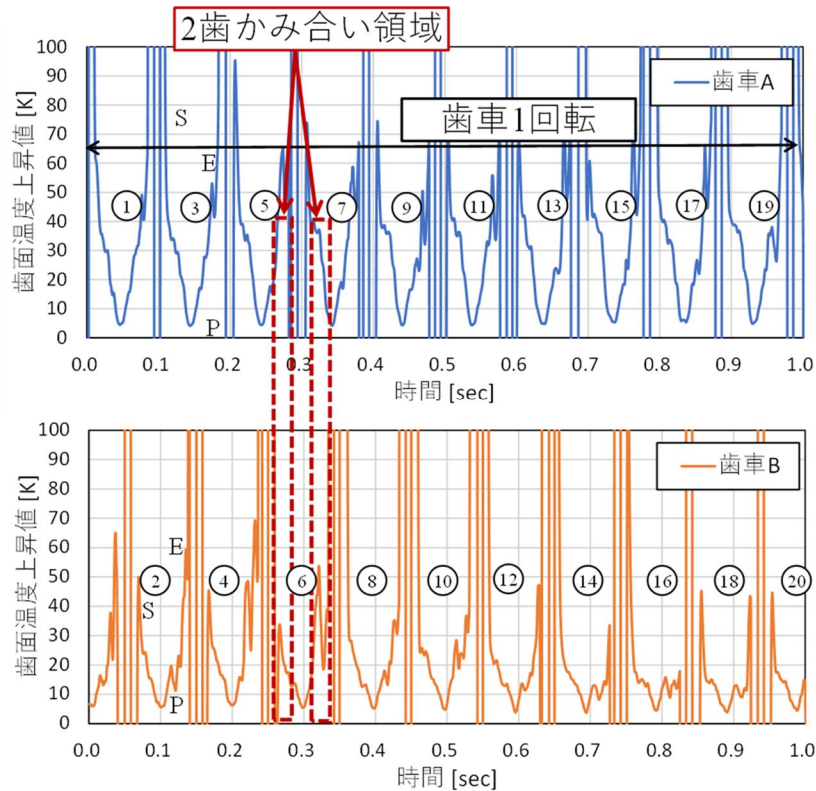


図 2 試験結果 (100Nm, 60rpm, 歯車 1 回転)

この結果より、歯車 A 側、歯車 B 側の両方でかみ合い始め点、ピッチ点、かみ合い終わり点でも歯面温度が計測されたことから、2 歯かみ合い領域を含む全かみ合い領域での歯面温度計測ができたと考えられる．

- (2) 図 2 に示す歯番号 10 番の歯面温度計測値と Blok の式を用いて算出した歯面温度予測値を比較したグラフを以下の図 3 に示す．

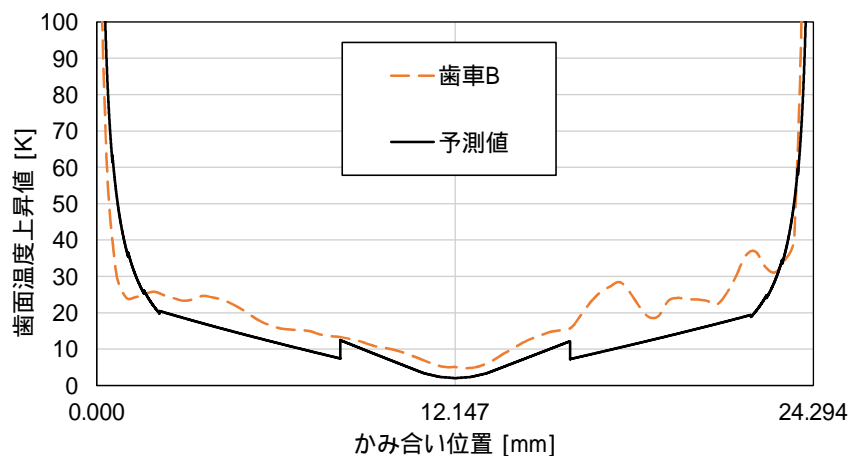


図 3 計測値と予測値の比較 (100Nm, 60rpm)

この結果より、かみ合い始めからかみ合い終わりまで歯面温度予測値と近い値を示しているため正確に歯面温度が計測されたと考えられる。

- (3) Blok の式の中で歯面温度に大きく影響を及ぼすパラメータは、単位歯幅法線荷重 w とすべり速度 v_s であり、以下の式(2)に示す通り単位歯幅法線荷重 w は接触線長さの影響を大きく受け、接触線長さが小さくなると単位歯幅法線荷重 w 及び瞬間歯面温度 θ は大きくなる。

$$w = \frac{F_n}{l} \quad (2)$$

ここで、 F_n は法線力、 l は接触線長さである。

次に、かみ合い位置における単位歯幅法線荷重とすべり速度の関係を以下の図4に示す。

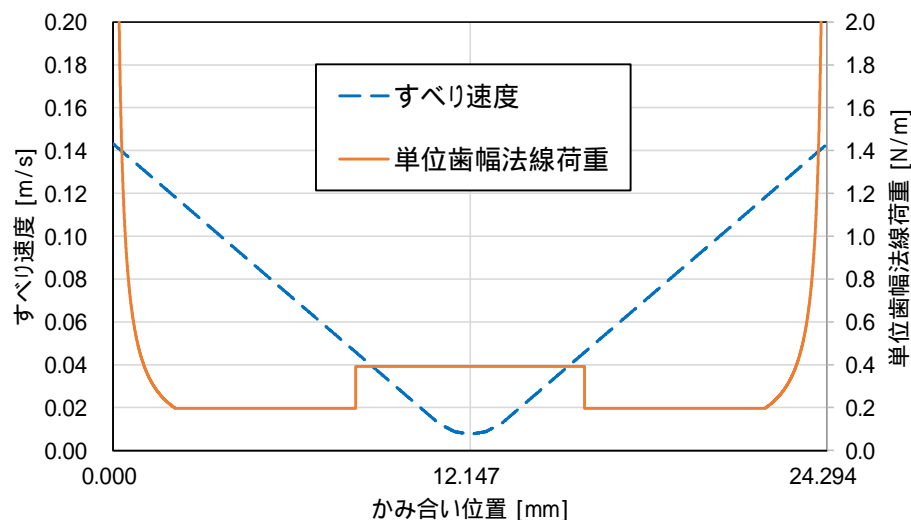


図4 かみ合い位置における単位歯幅法線荷重とすべり速度

図3と図4を比較すると、かみ合い始め、かみ合い終わりで単位歯幅法線荷重 w 及び瞬間歯面温度 θ が急激に大きくなっているのは、接触線が小さくなったからだと考えられ、スカッティングはかみ合い始め、かみ合い終わりで生じると考えられる。

参考文献

- (1) H. Blok. Les temperatures de surface dans des conditions de graissage sous extreme pression: Proceedings of Second World Petroleum Congress, Paris, 1937, p.471-486.
- (2) 佐々木外喜雄, 岡村健二郎, 小西忠孝, 内田隆史, 森武輔, 歯車潤滑の基礎研究(第8報, 歯面間油膜の形成とその動的挙動の解析). 日本機械学会論文集(第3部), 1966, Vol.32, No.240, p.1296-1309.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

| | |
|---|--------------------|
| 1. 著者名 TOZAKI Yasuyoshi、GOTO Takuya、NARA Tomoaki、HOSAKA Ryota | 4. 巻 85 |
| 2. 論文標題 Study on surface temperature evaluation method of hardened helical gear with lengthwise sliding velocity | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Transactions of the JSME (in Japanese) | 6. 最初と最後の頁 1-17 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/transjsme.18-00482 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である) | 国際共著 - |

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

| |
|---|
| 1. 発表者名 NARA Tomoaki、TOZAKI Yasuyoshi、GOTO Takuya、HOSAKA Ryota |
| 2. 発表標題 Study on surface temperature evaluation method of hardened helical gear with lengthwise sliding velocity |
| 3. 学会等名 ICMDT 2019 (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 HOSAKA Ryota、TOZAKI Yasuyoshi、NARA Tomoaki |
| 2. 発表標題 Study on surface temperature evaluation method of hardened helical gear with lengthwise sliding velocity |
| 3. 学会等名 ITC Sendai 2019 (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 東崎康嘉、後藤卓也、奈良智明、保阪瞭太 |
| 2. 発表標題 軸方向すべり速度を有する硬化はすば歯車の表面温度評価手法に関する研究 |
| 3. 学会等名 第80回ターボ機械協会 (東北) 学術講演会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 東崎康嘉, 後藤卓也, 奈良智明, 小栗佳祐 |
| 2. 発表標題 硬化異種金属はすば歯車の動的熱電対法による歯面温度測定における基礎的研究 |
| 3. 学会等名 日本機械学会2018年度年次大会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 東崎康嘉, 後藤卓也, 小栗佳祐, 奈良智明, 保阪瞭太, 野村健 |
| 2. 発表標題 硬化異種金属はすば歯車の動的熱電対法による歯面温度測定における基礎的研究 |
| 3. 学会等名 トライボロジー会議2018秋 伊勢 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 保阪瞭太, 東崎康嘉, 後藤卓也, 奈良智明 |
| 2. 発表標題 軸方向にすべり速度を有する硬化はすば歯車の表面温度評価手法に関する研究 |
| 3. 学会等名 2018年度関西学生会学生員卒業研究発表会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 松本峻資, 東崎康嘉, 保阪瞭太, 奈良智明, 堀田香津美 |
| 2. 発表標題 高面圧下におけるはすば歯車歯面温度予測に関する研究 |
| 3. 学会等名 2020年度関西学生会学生員卒業研究発表会 |
| 4. 発表年 2020年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

| | 氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号) | 所属研究機関・部局・職 (機関番号) | 備考 |
|--|---------------------------|-----------------------|----|
|--|---------------------------|-----------------------|----|

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

| 共同研究相手国 | 相手方研究機関 |
|---------|---------|
|---------|---------|