

超高温におけるひずみ分布計測手法 ～CMCへの応用展開～

Strain distribution measurement method at ultra-high temperature ～Application development to CMC～

石川 千尋¹⁾

指導教員 古井 光明¹⁾，田中 義久²⁾

1) 東京工科大学工学部機械工学科 材料グリーンプロセス研究室

2) 東京工科大学片柳研究所 セラミックス複合材料センター

キーワード： CMC，セラミックス，複合材料，ひずみ分布，超高温

1. はじめに

脱炭素が求められている昨今の航空機産業において、航空機から排出されるCO₂の削減や化石燃料等の地球資源の節約が課題となっている。これらの問題に対して航空機エンジンの燃費向上が効果的である。現在使用されているNi基耐熱合金をより高い耐熱性かつ軽い材料にすることで燃費効率が向上できる。この材料こそがセラミックス基複合材料 (Ceramic Matrix Composites ; CMC) である。セラミックスの身近な例は食器やガラスであり、ひびが入ると砕けてしまう性質がある。CMCはセラミックスの連続繊維と母材を複合化することで構造を複雑にしてこれを改善できる¹⁾。

CMCは作り方によって壊れにくさや成型しやすさ、コストが異なり、信頼性向上・安全性の評価が課題である。特に実際の使用環境に近い超高温(1000℃以上)での破壊を予測することが重要である。

CMCに限らず、各種材料の超高温下で生じる現象を観察や計測する手法が確立されていない。高温状態から室温まで冷やした後にこれらを予測しているため、いつどこでどのような変化が起きたかはわからない²⁾。本研究ではこれらを解決するため、超高温におけるひずみ分布計測の基礎的な知見を得ることを目的とした。

2. 手法と装置原理

高温観察引張試験機と画像相関法(DIC)を柱として、高温下で表面の局所的で極めて微小な変形(ひずみ)を計測する手法の確立を行う。

高温観察引張試験機とは画像をデジタル情報として取り込むCCDカメラと加熱炉、引張試験機が一体となった装置で、1000℃以上の雰囲気において材料を引張りながらリアルタイムでその表面を観察できる利点がある。実際に使用しているCCDカメラの基本構成²⁾を図1に記す。

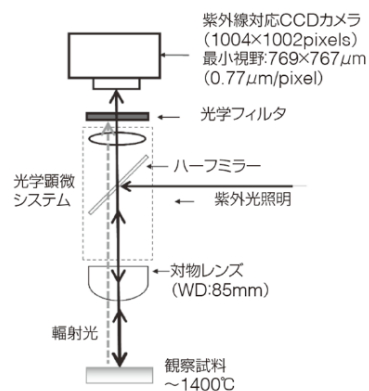


図1 CCDカメラ基本構成

紫外光を用いる理由として、1000℃以上の高温下では対象物から観測したい波長と同じ領域の電磁波が放出されるためである。加熱炉の最高温度は1500℃であり、内部に引張試験機を併設している。

これらはPC上のアプリケーションで同時に制御可能となっている。

画像相関法(DIC)とは撮影したデジタル画像を数値解析し、計測範囲全体について「どのくらい動いたか」と「力のかかり具合やその方向」を非接触・高精度で求めることができる。この解析を行うには表面にランダムパターンが必要となり、二次元だけでなく三次元でも可能となっている。

3. 実験結果と考察

DIC と高温観察引張試験機の二刀流で A5052 アルミニウム合金を用いた最適な解析条件を求める実験を行った。

実際の DIC 解析を行うにあたり、Subset という解析点の粗さを設定する必要がある。ランダムパターンのサイズに対して Subset が適切でないと最適な解析ができない。これは倍率毎に影響しているため、各倍率に最適な Subset を求めた。

V.P.Rajan らの研究³⁾によると、Subset の値を h_{sub} [pixels], ランダムパターンのサイズを h_{sp} とした時、以下の関係がある。

$$h_{sub} > 3 \cdot h_{sp} \quad (1)$$

$$h_{sp} > 3 \text{ pixels} \quad (2)$$

これらの条件を満たすと解析ができることがわかっている。

上記より、以下に実験概念を記載する。

- 1) ランダムパターンを施した試験片を、荷重を加えずに 10 枚撮影する。
- 2) 荷重を加えないためひずみは 0 である。しかし Subset が適切でないとひずみが発生したように解析してしまう。

3) これが 0 に近い結果が最適 Subset となる。100 倍率で行った解析結果を図 3 に記す。試験片に 2mm の穴をあけたがこれは CMC の表面を模擬したものである。また、図 4 にひずみと Subset のプロット結果を示す。Subset の値によって得られたひずみが異なる。100 倍率では Subset 数 35 が最も 0 に近いいためこれが最適 Subset となる。

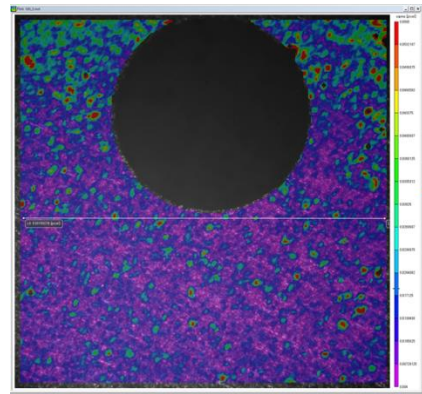


図 3 100 倍率解析時

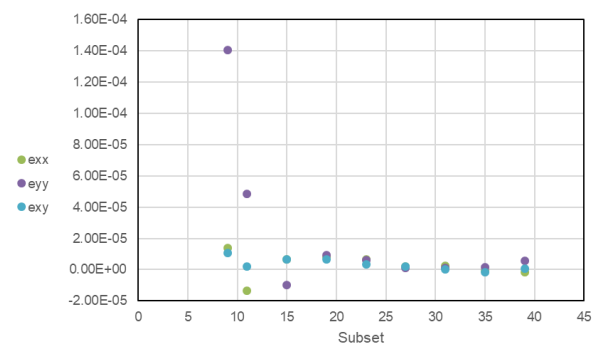


図 4 各方向のひずみ-Subset

4. まとめ

将来を期待される超高温材料である CMC では、実際の使用状況を模擬しながら信頼性評価を行うことが重要である。今回は DIC と高温観察引張試験機を用いて解析を行い、解析条件の一つである Subset 数に着目した。最適 Subset を参考にして今後はモノリシック SiC にビッカース圧痕を施し、1000℃以上で圧痕周辺の熱膨張や残留応力を測定する。

参考文献

- 1) 香川豊：応用物理, 86(2017), 467-473
- 2) 垣澤英樹, 香川豊：工業材料, 68(2020), 34-38
- 3) V.P.Rajan, M.N.Rossol, F.W.Zo : Experimental Mechanics, 52(2012), 1407-1421