

工具モニタリングシステムの開発 (第2報)

機上工具観察システム専用照明の開発

和田雅行, 竹保義博, 佐々木秀和, 山本 健, 筒本隆博^{*1}

Development of Tool Monitoring Systems II

Dedicated lighting of the tool observation system on the machine

WADA Masayuki, TAKEYASU Yoshihiro, SASAKI Hidekazu, YAMAMOTO Ken and TSUTSUMOTO Takahiro^{*1}

We suggest a device to observe the tool in the machine, in order to save labor of mold processing. For the third prototype of tool monitoring system with a waterproof mechanism, we have developed a special LED lighting to get a clear image of tools by the optical simulation in the design of lighting.

筆者らは県内金型製造業の加工技術の高度化支援を目的として、加工途中の工具観察を省力化する機上工具観察システムの実用化に取り組んでいる。試作3号機の製作にあたり、照明設計に光学解析を利用して防水機能を備え、鮮明な工具画像の取得が可能な専用照明を開発した。

キーワード：金型，工具モニタリング，LED，導光板，ストロボ

1. 結 言

機上工具観察システムは、ストロボ照明を加工機の主軸回転に同期して発光させることにより、回転中の工具を任意の回転位置で仮想停止させて観察できることを特徴とするデジタルマイクロスコープである。この装置を加工機内に取り付けることで、回転工具を取り外すことなく観察し、さらには画像データを保存、管理することで加工ノウハウの蓄積が手軽に実現できることを目指している。前報¹⁾で紹介した試作2号機は市販の無影ドーム型LED照明を使用した。防水機能は有していなかった。今回、試作3号機の製作にあたり、防水機能を備えた上で、回転中の工具をより鮮明な画像で撮影するための専用照明の開発を行った。

2. 既存品のシミュレーション

専用照明を試作するには、導光板の形状や使用するLED光源の数や配置の設計が必要である。設計にはCYBERNET社製の光学解析ソフト Light Tools を使用した。

シミュレーションによる設計では、まずこれで得られる情報が、信頼できるか確かめる必要がある。確認方法として、試作2号機に取り付けているドーム照明のシミュレーションを行い、実測値と比較を行った。

表1 照度測定条件

測定装置	測定角(°)	1
	積分時間(s)	1
サンプル照明	消費電力(W)	11.1
	LED数(個)	138(底面18)
	発光時間(μs)	100
	発光周波数(Hz)	30



写真1 照度測定風景

2.1 既存品の照度測定

最初に、既存品の無影ドーム型LED照明（以下、サンプル証明）の照度測定を行った。使用したサンプル照明は日進電子工業（株）製WFM68Rで、照度の測定は、（株）トプコンテクノハウス製分光放射輝度計SR-LEDWにより行った。照度の測定条件を表1に、測定風景を写真1に示す。測定装置の測定面からサンプル照明の前面までの距離をワークディスタンスとし、ワークディスタンスを変化させ測定を行った。その結果を図2の実測に示す。

^{*1} 西部工業技術センター

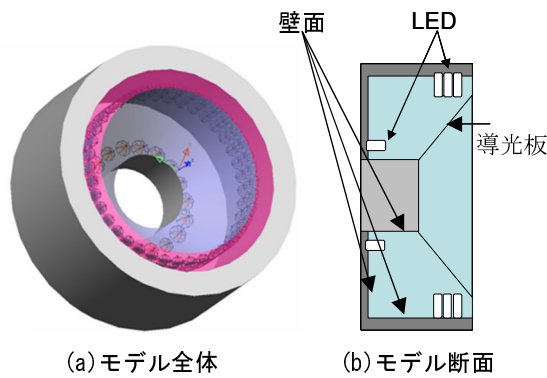


図 1 サンプル照明の解析モデル

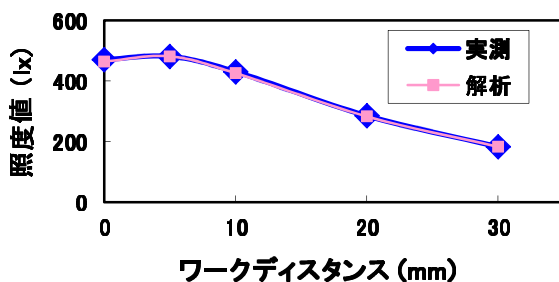


図 2 サンプル照明の照度の実測値と解析値の比較

表 2 光学特性解析条件

LED 数 (個)		138
LED 出力 (1m)		9.5
LED 配光		NSPW510DS-D1 準拠 (広がり角 30°)
導光板	透過率 (%)	85
	拡散条件	ランバート
照明内部 壁面	反射率 (%)	80
	拡散条件	ランバート
受光部 (SR-LEDW 準拠)		φ 20mm の円形

2.2 光学解析条件の選定

使用したサンプル照明の解析モデルの全体図を図 1 (a)に、断面図を図 1 (b)に示す。導光板透過率および照明内部の壁面反射率を調整しワークディスタンス 0mm における解析値と実測値の合わせ込みを行った。なお、LED 出力は消費電力からの推定値とした。この作業により得られた光学特性の解析条件を表 2 に示す。導光板表面は透明でなく研磨されていたため、透過を理想等方拡散(ランバート)とした。照明内部の壁面も鏡面ではなく白色であったため、反射光の拡散度合いをランバートとした。

2.3 実測照度と解析照度の比較

前節で得られた解析条件を用いてワークディスタンス 0mm, 5mm, 10mm, 20mm, 30mm としたときの照度を解析した。図 2 に各ワークディスタンスにおける解析値と実測値の比較を示す。解析値は実測時の発光時間や発光周波数に換算している。合わせ込みを行っていない 0 mm 以外

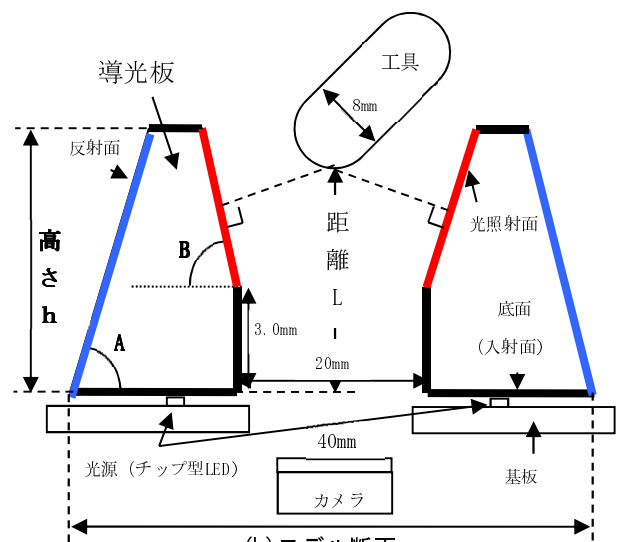
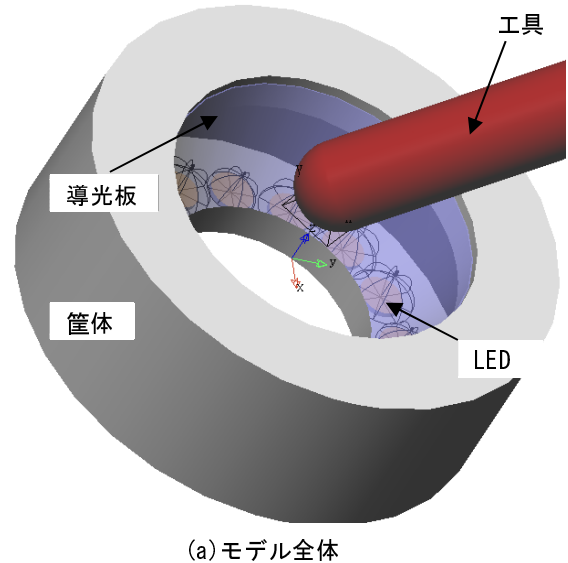


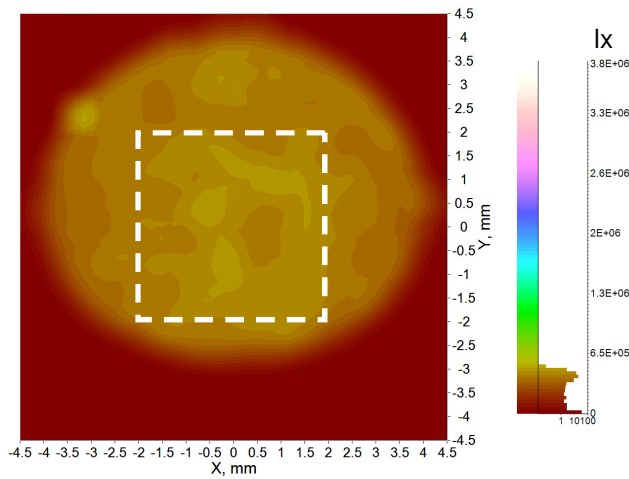
図 3 解析モデル

の距離 (5mm, 10mm, 15mm, 20mm, 30 mm) のいずれのワークディスタンスにおいても実測値と解析値はよく一致し、シミュレーションによる解析が有効であることが確認できた。導光板が透明ではない場合の解析は拡散度合いをランバートにすることで近似できることが分かった。合わせこみの結果、既存品のアクリル透過面における拡散透過率が 85% で一致したため、専用 LED 照明の設計値でも同値を利用することとした。

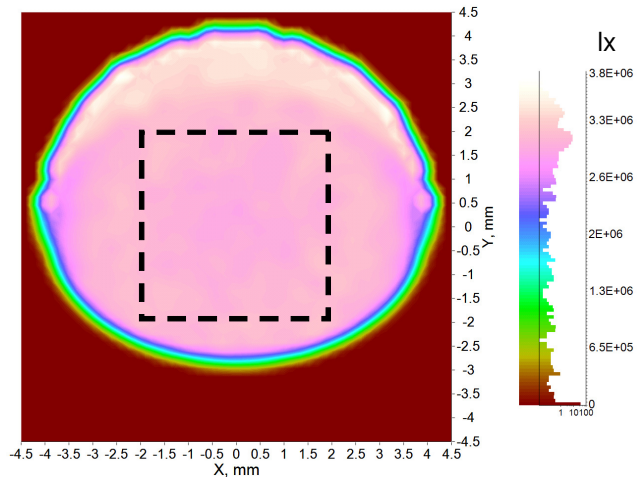
3. 専用 LED 照明の光学設計

3.1 光学解析モデルおよび解析条件

前章で使用したサンプル照明は、底面および壁面に LED が配置されており、導光板の形状が複雑で加工コストが上昇している。また加工機は作業中に水や油を使用するため、観察装置を組み込むためには防水機能が必須である。



(a) サンプル照明



(b) 解析モデル No. 6

図4 サンプル照明とモデルでの照度比較

表3 導光板の形状パラメータ

No.	高さ h (mm)	角度 A (°)	角度 B (°)
1	9.0	90	20
2	14.0	90	45
3	21.0	90	70
4	5.8	70	20
5	8.9	70	45
6	14.4	70	70
7	5.0	45	20
8	6.0	45	45
9	10.0	45	70

表4 LED のパラメータ及び光学解析条件

LED 数(個)		16	
定格電流(mA)		800	
定格電圧 (V) : I=300mA		3	
LED 出力 (1m)		350	
LED 配光		NS6W183AT 準拋 広がり角 150°	
透過面		透過率(%)	85
		拡散条件	ランバート
反射面	壁面	反射率(%)	90
		拡散条件	ランバート
	底面	反射率(%)	80
		拡散条件	ランバート

本研究では生産性と機能性を両立することを目的に、導光板を設計することで、防水機能を搭載し易いシンプルな形状でありながら、底面に配置された高輝度 LED のみで鮮明な工具先端画像を取得できる専用照明を検討した。

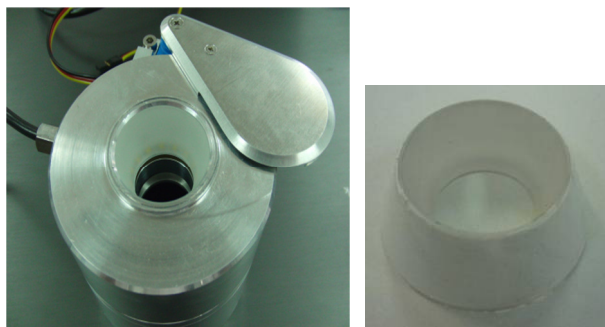
表5 解析結果

No.	距離 L (mm)	平均照度 ($\times 10^6 \text{ lx}$)	最大照度 ($\times 10^6 \text{ lx}$)
1	15.0	2.6	3.2
2	19.0	2.6	3.2
3	21.0	2.5	2.9
4	11.0	2.2	2.9
5	6.0	2.7	3.3
6	11.0	3.3	3.9
7	10.5	2.8	3.6
8	11.5	3.1	3.7
9	10.3	2.9	3.6

検討したモデルを図 3(a)に、導光板の断面を図 3(b)に、導光板の形状パラメータを表 3 に示す。反射面と底面がなす角度を A、光照射面と底面がなす角度を B とし、それぞれを変化させた時の解析を実施した。なお高さ h は角度 A と角度 B の組み合わせによって従属的に変化する。解析に使用した LED のパラメータと光学解析条件を表 4 に示す。LED は、日亜化学工業(株)製 NS6W183AT を選定し、定格電流時における全光束 350lm で解析を行った。LED は直径 28mm の円周上に等間隔に 16 個配置した。また導光板の透過面の光学特性は、前節の結果を利用する。壁面および底面の反射率は、発光した光を効果的に透過面に導くため、壁面に高反射率の反射塗料（関西ペイント(株)製 SW-20）を、底面には白色レジストを塗布することとし、それらの実測値を用いた。

3.2 解析結果

表 3 の 9 種類の導光板について光学解析を実施した。結果を表 5 に示す。距離 L は、各解析条件において解析面全体の平均照度が最大になる位置であり、光源を配置している平面から工具先端までの距離である。また平均照度および最大照度は図 4 中の破線で囲まれた枠内（縦



(a) 照明概観 (b) 試作した導光板

写真 2 試作照明写真

表 6 試作した照明の仕様

全体	外径 (mm)	60
	高さ 1 (mm)	18
	消費電力 (w)	208
LED	型番	NS6W183AT
	数量 (個)	16
	出力 (lm)	498
	Duty 比 (%)	1
導光板	外径 (mm)	40
	内径 (mm)	20
	高さ 1 (mm)	14.4
	高さ 2 (mm)	3
	角度 A (°)	70
	角度 B (°)	70
	反射面反射率 (%)	90
	底面反射率 (%)	80
	照射面処理	ブラスト処理

4mm×横 4mm) における照度の平均値および最大値である。解析により平均照度および最大照度が最も大きい値を示した解析モデル(表 5 No. 6)の照度の等高線図を図 4(b)に、比較のために前章で使用了サンプル照明の照度の等高線図を図 4(a)に示す。等高線図の中央にある破線の領域の平均照度は、サンプル照明が $0.44 \times 10^6 \text{lx}$ 、解析モデル No. 6 が $3.31 \times 10^6 \text{lx}$ であり、解析モデル No. 6 の照度はサンプル照明の約 7.5 倍になった。単純な取り出し効率 (lx/lm) を比較すると、サンプル照明が 3351lx/lm、No. 6 が 5911lx/lm となり、サンプル照明の約 1.8 倍となった。

3.3 LED 照明の耐久性試験

機上工具観察システムは短時間のパルス発光で、duty 比も小さい状態での使用を前提としているため、定格電流よりも大きい電流で駆動させたとしても平均電流は低くなることから大きい電流を流すことができる。それでも定格を超える電流を使用することになるため、耐久性試験を実施した。今回の実験では投入電流を定格パルス電流の 2 倍にあたる 2A とし、発光時間 0.1msec、発光周波数 100Hz、duty 比 1% の条件で、雰囲気温度 80℃、試

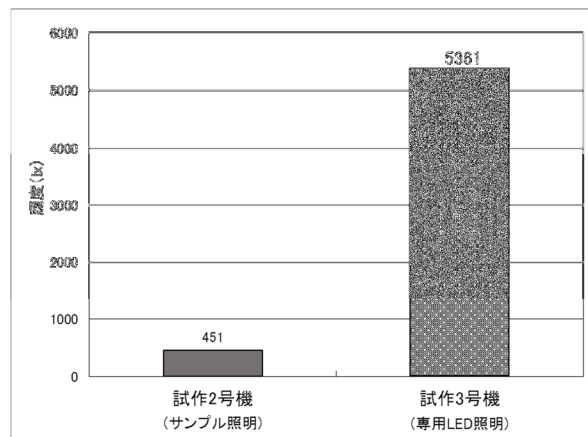


図 5 照度測定結果

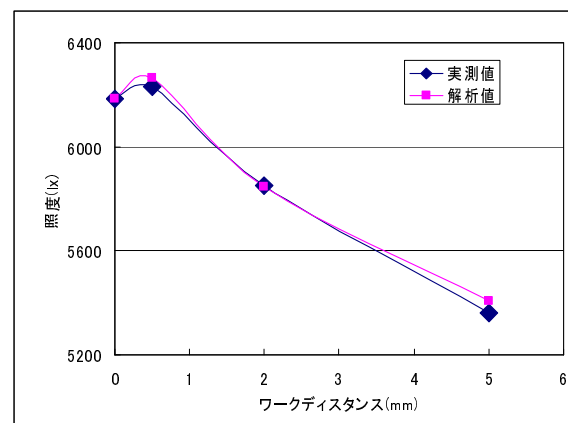


図 6 専用 LED 照明の実測値と解析値の比較

験時間 48 時間の加速試験を実施した。照明器具測光装置により発光性能の劣化が無いことが確認できた。2A 時の LED 1 個当たりの光出力は 498lm で、全体では 7960lm となり、LED 部の消費電力は duty 比 1% で 1.28W であったことから、投入電力 1W 当たり 62.5lm の効率であった。

3.4 試作モデル

前記結果より、試作する照明は解析モデル No. 6 の解析結果を選定した。回路は LED を 4 直列、4 並列の 16 個を平面基板に実装し、1 ラインごとに 10Ω の抵抗を実装することにより、電流値が一定になるようにした。その結果、全消費電力が常時点灯時 (duty 比 100%) に LED 部 128W、抵抗 80W の計 208W になった。試作した照明の概観と導光板を写真 2 に示す。反射面に 3.1 で用いた反射塗料を塗布し、透過面をサンドブラスト処理している。使用した研磨剤は、粒番号 #24 (粒度範囲 710~600 μm) の高純度アルミナ研磨材である。試作した照明の仕様を表 6 に示す。防水機能として、部品同士の接合部に O リングを用いた止水設計を行った。duty 比 1% 以下での利用に特化することで放熱機構を省略し、サンプル照明に比べ大幅な小型化を実現した。

3.5 試作照明の評価

試作照明の照度測定を表 1 と同じ条件で実施し、ワークディスタンス 5mm としたときの結果を図 5 に示す。試作照明の照度は、サンプル照明と比較して約 11 倍であった。

続いて、試作照明の実測と解析モデル No. 6 の光学解析をワークディスタンス（0mm, 0.5mm, 2mm, 5mm）ごとに行った。結果を図 6 に示す。実測値と解析値はよく一致しており、シミュレーション通りに設計できた。

また防水機能について止水性試験を行った。試作照明を水深 0.5m で 1 時間の水没試験を実施し、漏水は確認されなかった。

4. 結 言

加工途中の工具観察を目的とする機上工具観察システムの実用化を目標に、防水機能を有し工具を明るく均一に照らすことができる専用の高出力 LED ストロボ照明の開発を行った。結果としては防水機能を持ちながら高照度値（約 6200klx）を得ることができ、光学解析を利用することで効率の良い設計が実施できた。

文 献

- 1) 竹保義博ほか 5 名：広島県立総合技術研究所東部工業技術センター研究報告，**25**，1－5（2012）.