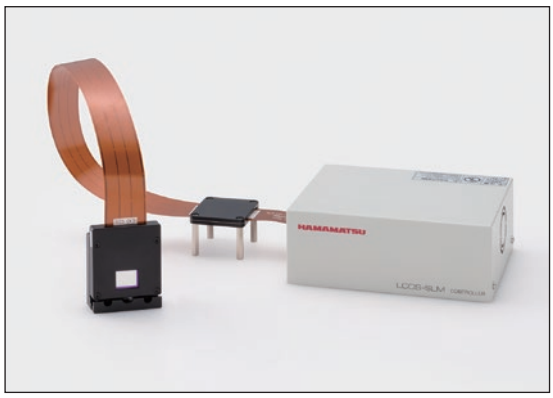
HAMAMATSU
PHOTON IS OUR BUSINESS

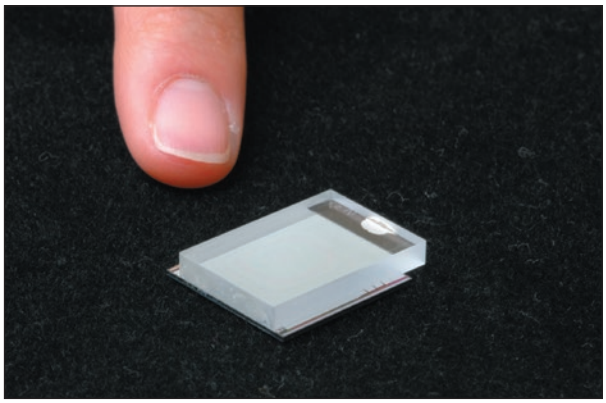
LCOS-SLM
X15213シリーズ



■特長
●高回折効率
●高光利用効率
●高線形変調特性
●高耐光性
●PCからの簡単な制御
●光学定盤上での使用に適した筐体設計

■用途
●光ビームパターン成形
●レーザ加工
●レーザマーキング
●光マニピュレーション
●光ピンセット
●波面収差補正
●補償光学
●光渦(Optical vortex)生成
●パルス整形
●金属3Dプリンティング

■概要
光学定盤上で簡便に使用するために電源をACアダプタから供給し、小型筐体を採用したLCOS-SLM (Liquid Crystal On Silicon – Spatial Light Modulator) です。コントローラ部にはインターフェースとしてPCディスプレイなどの標準規格であるDVI (Digital Video Interface) を採用しており、PCのディスプレイに表示する手法と同様の方法で光の位相の空間分布を制御することができます。
CMOS技術を応用して形成したアドレス部で直接液晶を電圧制御することにより、高速応答かつ高精度な位相変調が可能です。最適な光学設計により光損失を最小限に抑えることで、高回折効率と高光利用効率を実現しています。また、ミラー表面の歪曲・液晶層の厚さの不均一性・液晶の非線形応答性などによる制御歪をデジタル処理により補正することで、高い線形性を実現しています。
耐光性を向上させるために水冷ヒートシンクを搭載したタイプや、ガラス基板にサファイアガラスを採用したタイプもラインアップしています。

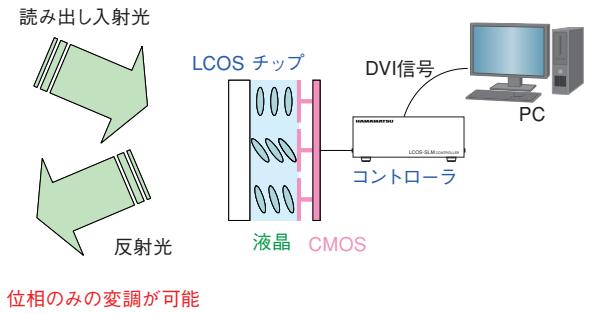
■LCOSチップ


LCOS-SLM X15213シリーズ

■動作原理

PCからコントローラに送られるDVI信号でCMOSの画素電圧を制御することで、平行配向されたネマティック液晶分子の傾きを画素ごとに独立に制御することができます。液晶分子の傾きに応じて液晶層の屈折率が変化するため、液晶を通過する入射光の光路長が変化して位相に差が生じます。ここで入射する直線偏光の偏光方向と液晶分子の配向方向を一致させることにより、光強度や偏光方向の変化を伴わずに、光の位相のみを変調することが可能です。

図1　動作原理



■対応波長範囲

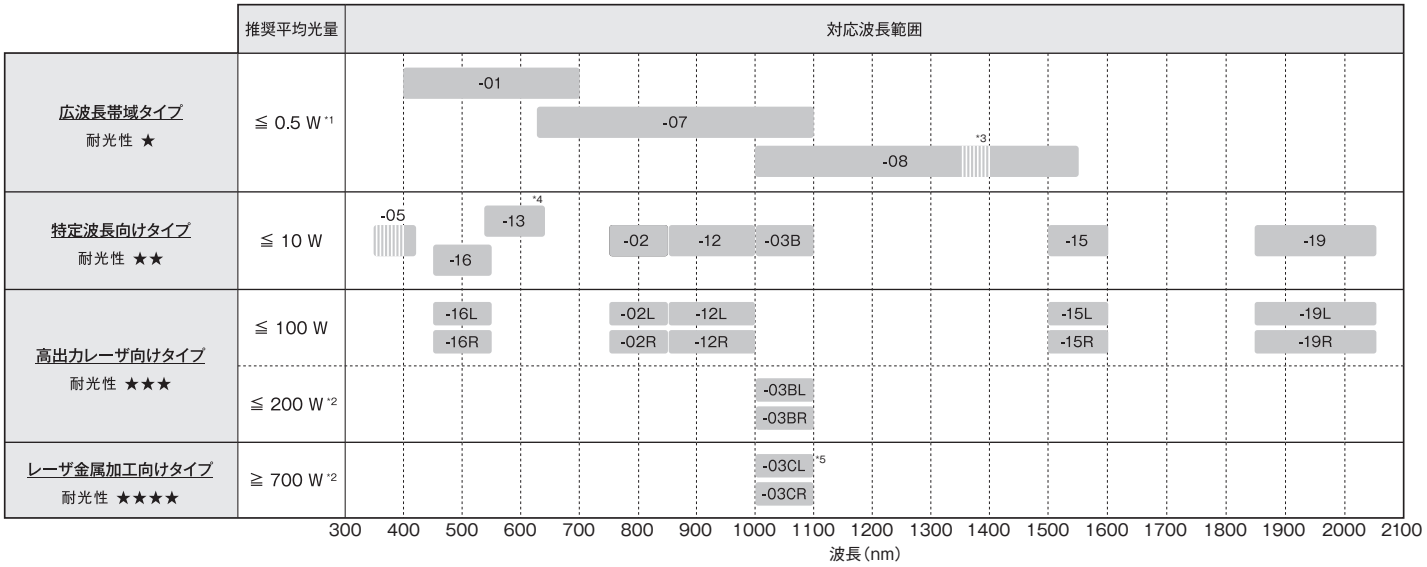
X15213シリーズでは、さまざまな波長のニーズに対応した豊富なラインアップを用意しています。高効率な位相変調をするため、全タイプにおいてガラス基板には反射防止膜・CMOSチップにはミラーが形成されています。いずれのタイプも、使用時の推奨ビーム径(1/e²)はφ8 mm以上です。

●広波長帯域タイプ (-01/-07/-08)
CMOSチップ上のアルミ電極による反射を利用しており、広域の反射波長域を有するため幅広い波長範囲で使用できます。

●特定波長向けタイプ (-02/-03B/-05/-12/-13/-15/-16/-19)
レーザ波長に合わせて専用設計した誘電体多層膜が形成されています。広波長帯域タイプと比較して高反射率を実現したことで素子内部での吸収が低減されるため、高い光利用効率を得ることができます。

●高出力レーザ向けタイプ (-02L/-02R/-03BL/-03BR/-12L/-12R/-15L/-15R/-16L/-16R/-19L/-19R)
特定波長向けタイプのヘッド部に水冷ヒートシンクを搭載し、レーザ照射による温度上昇を抑制して、耐光性を向上させています。

●レーザ金属加工向けタイプ (-03CL/-03CR)
水冷ヒートシンクに加えて、ガラス基板にサファイアガラスを採用し放熱効率を高めることで、耐光性を700　W以上に高めています。



*1 単位面積あたり500 mW/cm²以下を推奨。
*2 照射条件に依存するため、詳細についてはお問い合わせください。
*3 -08は1350 nm～1400 nmの波長帯でガラス基板の吸収により反射率が5 %程度低下します。
*4 -13と-16は532 nm帯レーザに対応可能です。-16は-13よりも短パルスレーザに対して耐光性が高い設計となっています。
*5 -03CL/-03CRは金属加工に有効な700 W以上の耐光性を有しています。

LCOS-SLM X15213シリーズ

■構成

●ヘッド部

項目	X15213シリーズ	単位
画素数	1272 × 1024	pixel
画素ピッチ	12.5	μm
有効エリアサイズ	15.9 × 12.8	mm
開口率	96.8	%
質量	152（高出力レーザ向けタイプ: 552 / レーザ金属加工向けタイプ: 557）	g

●コントローラ部

項目	X15213シリーズ	単位
電源電圧 (AC)	100 ～ 230	V
電源周波数	50 / 60	Hz
消費電力 (Typ.)	15	W
入力信号	DVI-D (Digital video interface) / USB-B (2.0 High-speed)	—
DVI信号フォーマット	1280 × 1024	pixel
DVIフレームレート	60	Hz
入力信号階調数	256	level
質量	910（付属品含む: 1350）	g

■絶対最大定格

(Ta=25 ℃)

項目	X15213シリーズ	単位
動作温度 *1	+10 ～ +40	℃
保存温度 *1	-20 ～ +55	℃
水流用コネクタ耐圧	0.3（高出力レーザ向けタイプ）	MPa

*1 結露なきこと。湿度によっては特性が劣化するため注意が必要。
注）絶対最大定格を一瞬でも超えると、製品の品質を損なう恐れがあるため、必ず絶対最大定格の範囲内で使用すること。

■電気的および光学的特性

項目	対応波長域 (nm)	光利用効率 (Typ.) (%)	上昇時間 *1 (Typ.) (ms)	下降時間 *1 (Typ.) (ms)
X15213-01	400 ～ 700	76	5	21
X15213-02/-02L/-02R	800 ± 50	97	33	85
X15213-03B/-03BL/-03BR /-03CL/-03CR	1050 ± 50	97	27	83
X15213-05	410 ± 10	97	7	17
X15213-07	620 ～ 1100	80	9	73
X15213-08	1000 ～ 1550	86	13	145
X15213-12/-12L/-12R	850 ～ 1000	97	38	109
X15213-13	530 ～ 635	97	10	21
X15213-15/-15L/-15R	1550 ± 50	97	26	135
X15213-16/-16L/-16R	510 ± 50	97	11	33
X15213-19/-19L/-19R	1850 ～ 2050	97 *2	30 *2	155 *2

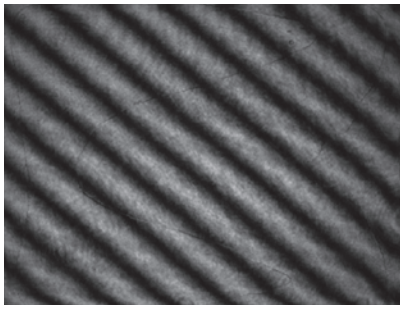
*1 各対応波長において、2 π変調の10 %から90 %の変化に必要な時間。
*2 発振波長1950 nmのレーザに対する設計値。
注）光利用効率、上昇時間、下降時間の測定に使用したレーザの発振波長は以下の通り。
発振波長 633 nm（X15213-01）
発振波長 785 nm（X15213-02シリーズ）
発振波長 1064 nm（X15213-03Bシリーズ/-07）
発振波長 405 nm（X15213-05）
発振波長 1550 nm（X15213-08/-15シリーズ）
発振波長 940 nm（X15213-12シリーズ）
発振波長 532 nm（X15213-13/-16シリーズ）

■動作特性

●高精度な位相変調

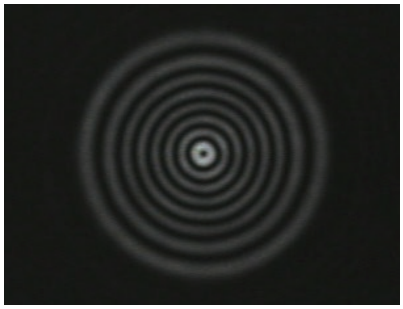
CMOS技術を応用して形成したアドレス部で直接液晶を電圧制御することにより高精度な位相変調が可能です。そのため、ホログラム応用に非常に適しています。図2(a)は補正を加えて一様な空間光位相変調を行った場合の出力波面を、干渉計で計測した結果です。観測される干渉縞に大きな歪みもなく、高精度な波面が出力されていることがわかります。また、図2(b)は位相型ホログラムをフーリエ変換光学系で再生して得られる1次回折像の例です。図2(c)は(0,1)次のLGビームを生成した結果であり、鮮明にLGビームが生成されていることがわかります。

図2　出力像例



(a) 補正後の出力波面
1272 × 1024 画素
RMS: 0.025 λ（λ=532 nm)

(b) CGH再生像

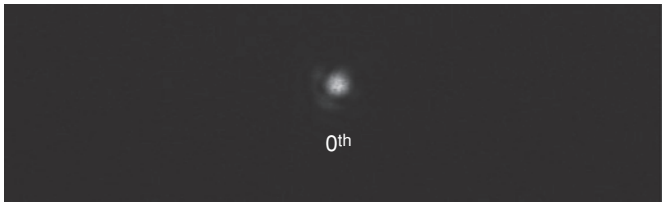


(c) LGビーム生成

●高い回折効率

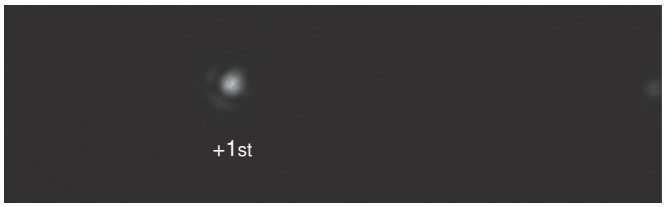
最適な光学設計により光損失を最小限に抑えることで、理論値に近い回折効率を得られます。図3は多値位相格子を表示した際に得られる回折スポット像です。多値位相格子を利用することにより、例えば図3(c)に示すように+1次のみに回折スポットを集中させることが可能となるため、高い光利用効率を得ることができます。また、図4に回折効率の代表的な例を示します。ここでの回折効率は、変調を行わない場合（パターンなし）の0次光強度に対する1次回折光強度の比です。

図3　回折スポット像（代表例）



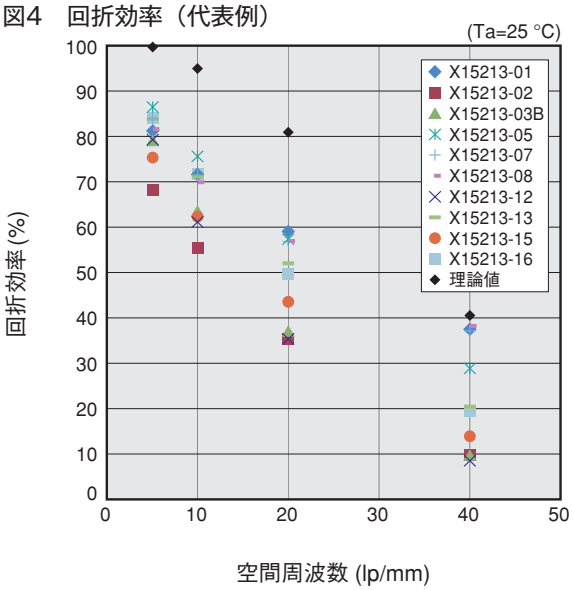
(a) 変調なし

(b) 2レベルの回折格子 (40 lp/mm)



(c) 4レベルの回折格子 (20 lp/mm)

図4　回折効率（代表例）



LEJ-F40001

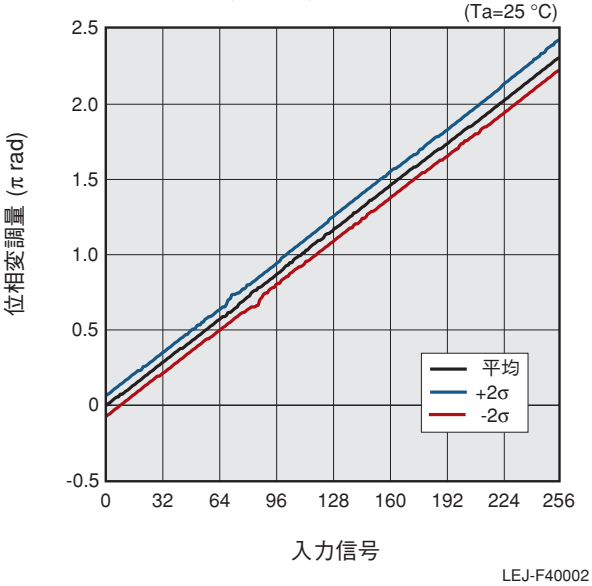
●高い光利用効率

入射光強度に対する0次回折光強度の比で表される光利用効率が高いという特長があります。この光利用効率は、主に画素構造による回折ロスと素子に形成されたミラーの反射率に依存します。そこで、CMOS技術を応用するとともに、その設計に細心の注意を払うことにより、回折ロスを5 %以下と最小限に抑えています。特に、-02/-03B/-05/-12/-13/-15/-16/-19は誘電体多層膜ミラーにより高反射率を実現しているため、非常に優れた光利用効率を示します。

●大きな位相変調特性と高い線形性

400 nm～2050 nmの波長範囲において、2 π以上の位相変調量を得ることができます。出荷時には、タイプごとに特定の波長範囲に合わせて高精度・高線形変調特性が得られるように調整されています。図5は位相変調特性の代表例です。2 π以上の位相変調量が高い線形性をもって得られていることがわかります。また位相変調特性については、有効面内の95 %の画素における位相変調が±2 σの範囲に収まっており、バラツキが小さいことを確認しています。

図5　位相変調特性（代表例）



LCOS-SLM X15213シリーズ

■耐光性

X15213シリーズは汎用性と高信頼性を実現していますが、高出力レーザ光を照射する際、ピークパワーや平均光量によっては特性変化が発生する懸念があります。ピークパワーが高い場合、2光吸収が発生するため特性変化や損傷につながります。平均光量が高い場合、発熱によって特性変化が発生します。この発熱起因の特性変化を抑制するには、放熱性能を向上させた高出力レーザ向けタイプやレーザ金属加工向けタイプが有効です。

●高出力レーザ向けタイプ

水冷ヒートシンクを搭載した高出力レーザ向けタイプを利用することで発熱を抑制し、耐光性を改善することができます。対応波長: 1050 nmの-03BL/-03BRは、平均光量200 WまでのYAGレーザなどへの対応が可能です。

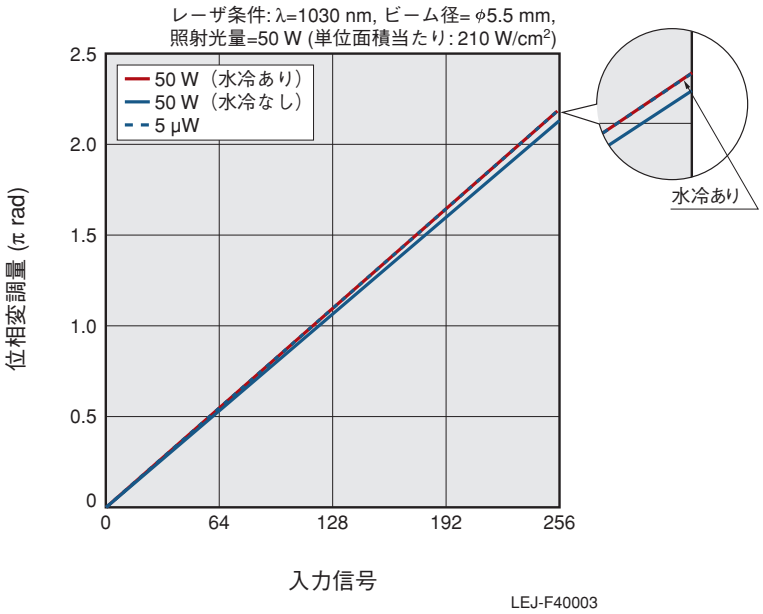
●レーザ金属加工向けタイプ

水冷ヒートシンクに加えて、ガラス基板に従来材料よりも熱伝導率が約30倍高いサファイアガラスを採用し、放熱効率を高めています。さらに、ヘッド部のパッケージ内部に熱伝導率の高い充填剤を封入し、内部構造を最適化することで耐光性を700 W以上に高めることに成功しました。金属加工に必要な高出力レーザへの対応が可能です。

タイプ	型名	推奨平均光量
広波長帯域タイプ	X15213-01/-07/-08	≦0.5 W *1
特定波長向けタイプ	X15213-02/-03B/-05/-12/-13/-15/-16/-19	≦10 W
高出力レーザ向けタイプ	X15213-02L/-02R/-12L/-12R/ -15L/-15R/-16L/-16R/-19L/-19R	≦100 W
	X15213-03BL/-03BR	≦200 W *2
レーザ金属加工向けタイプ	X15213-03CL/-03CR	≧700 W *2

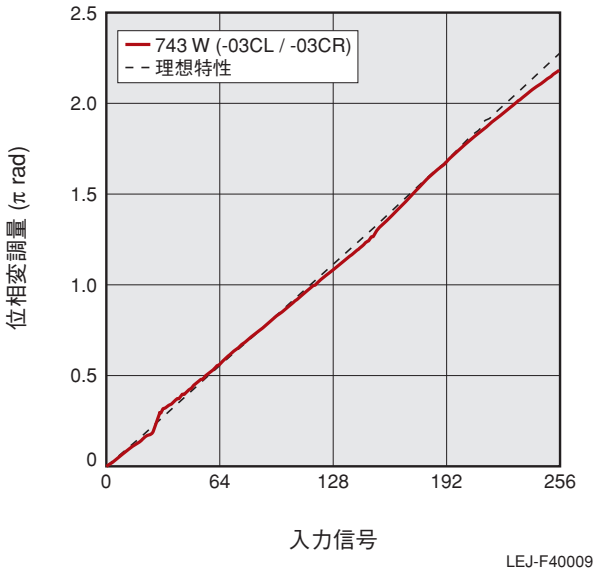
*1 単位面積当たり500 mW/cm²以下を推奨。
*2 照射条件に依存するため、詳細についてはお問い合わせください。

図6　高出力レーザ向けタイプの位相変調特性



注）本データは旧タイプによる試験結果です。後継機種の-03BL/-03BRシリーズでも同等以上の性能が得られます。

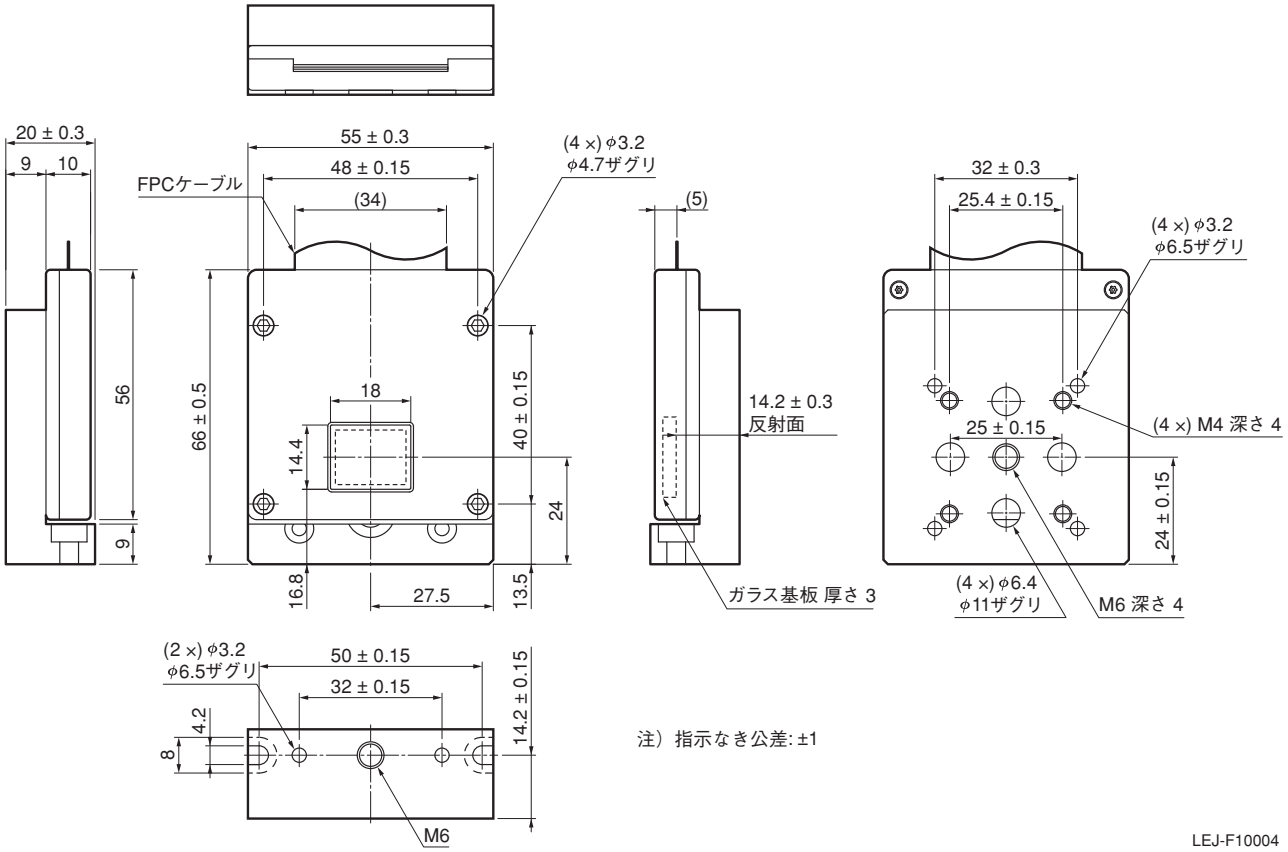
図7　レーザ金属加工向けタイプの位相変調特性



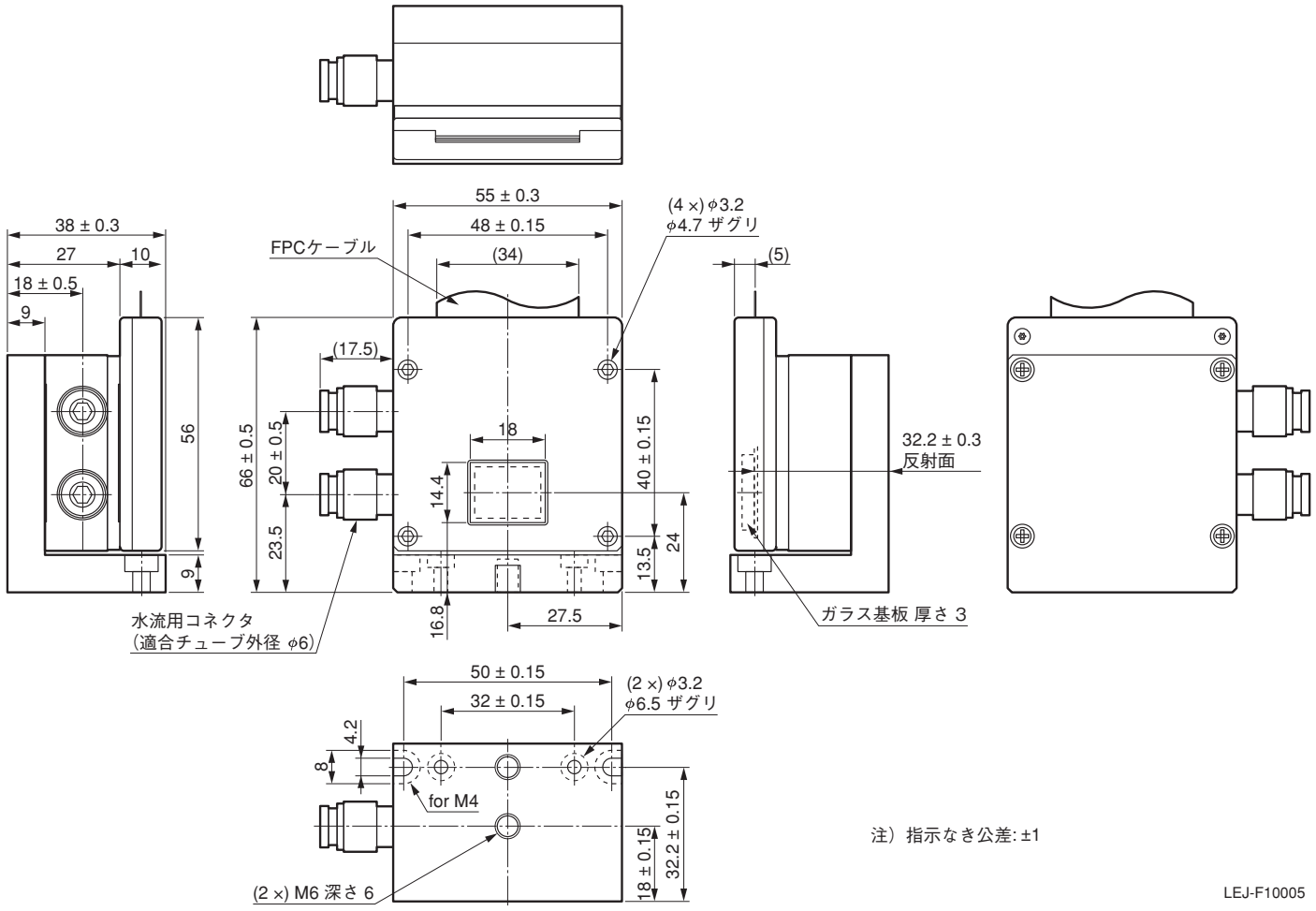
注）水冷条件によります。詳しくは弊社にお問い合わせください。

図8　外形寸法図（単位: mm）

●ヘッド部（X15213-01/-02/-03B/-05/-07/-08/-12/-13/-15/-16/-19）

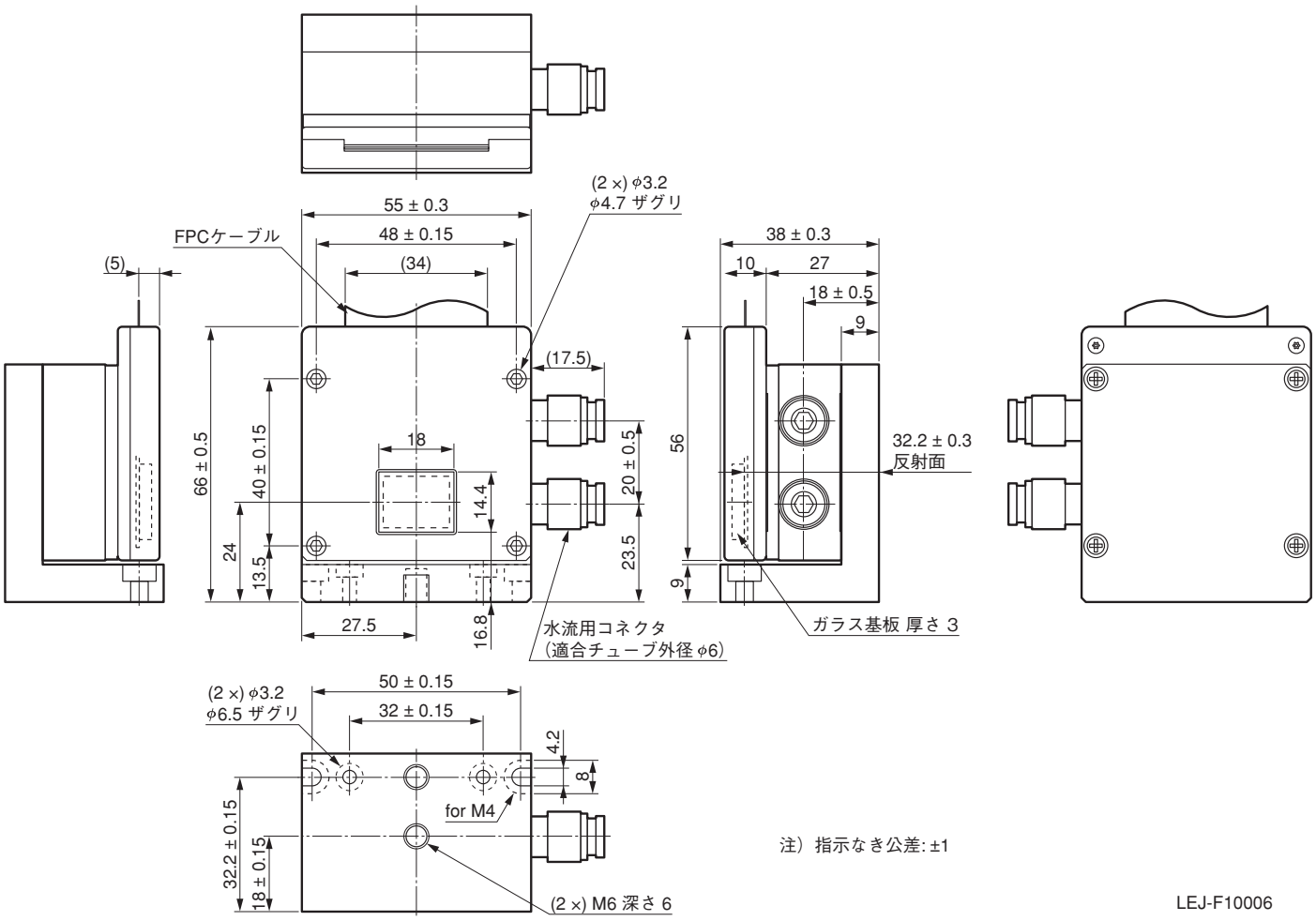


●ヘッド部（高出力レーザ向けタイプ: X15213-02L/-03BL/-12L/-15L/-16L/-19L　レーザ金属加工向けタイプ: X15213-03CL）

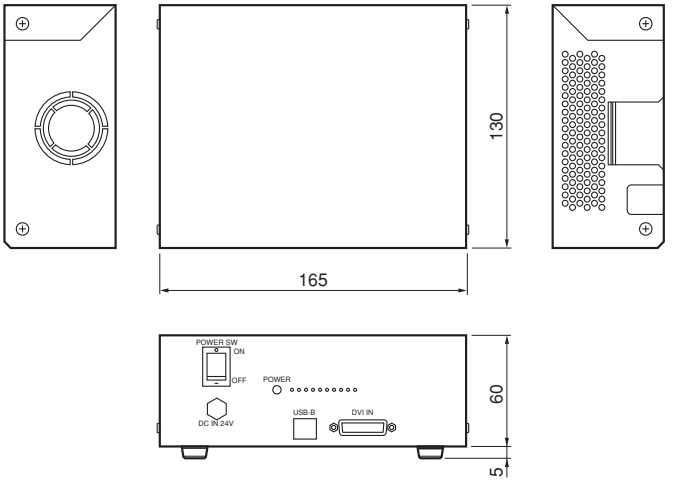


LCOS-SLM X15213シリーズ

●ヘッド部（高出力レーザ向けタイプ: X15213-02R/-03BR/-12R/-15R/-16R/-19R　レーザ金属加工向けタイプ: X15213-03CR）



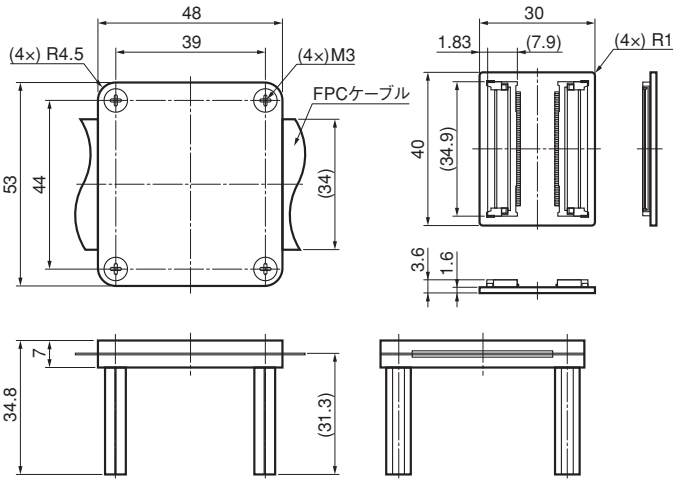
●コントローラ部



注）指示なき公差: ±1

LEJ-F10007

●中継部



注）指示なき公差: ±1

LEJ-F10008

X15213シリーズには、PCが含まれていません。以下を参考にしてPCを用意してください。

・付属ソフトウェア*1の対応OS: Microsoft® Windows® 10
・X15213シリーズをDVI接続するためには、PCにDVI-Dポートもしくは、DVI-D変換器が必要です。
・付属ソフトウェアをインストールしたPCに2つのモニタを接続することによって、第1モニタにPC画面、第2モニタにX15213シリーズの位相画像を表示できます。この場合、第1モニタ上の操作によって、第2モニタ上の位相画像の表示を制御できます。
・X15213シリーズとPCをUSB接続して、付属ソフトウェアを用いると位相画像を表示することが可能です。

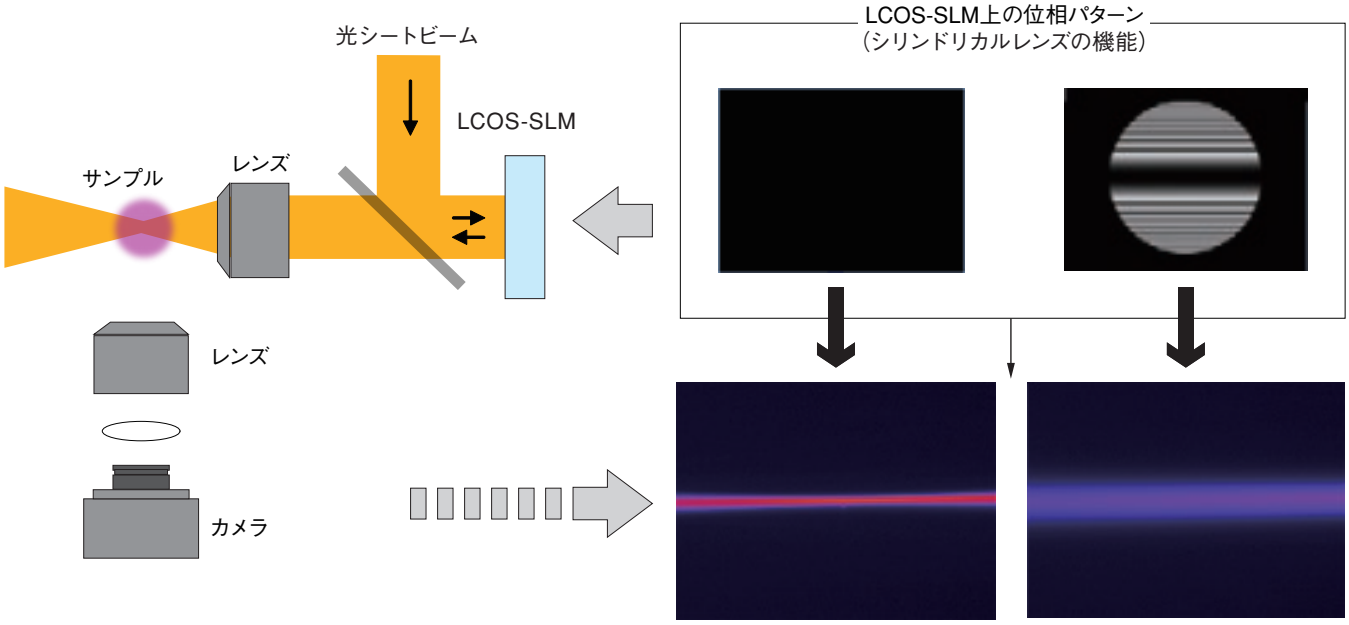
*1: 付属ソフトウェアには、計算機ホログラム (CGH)などの生成機能が搭載されています。

LCOS-SLM X15213シリーズ

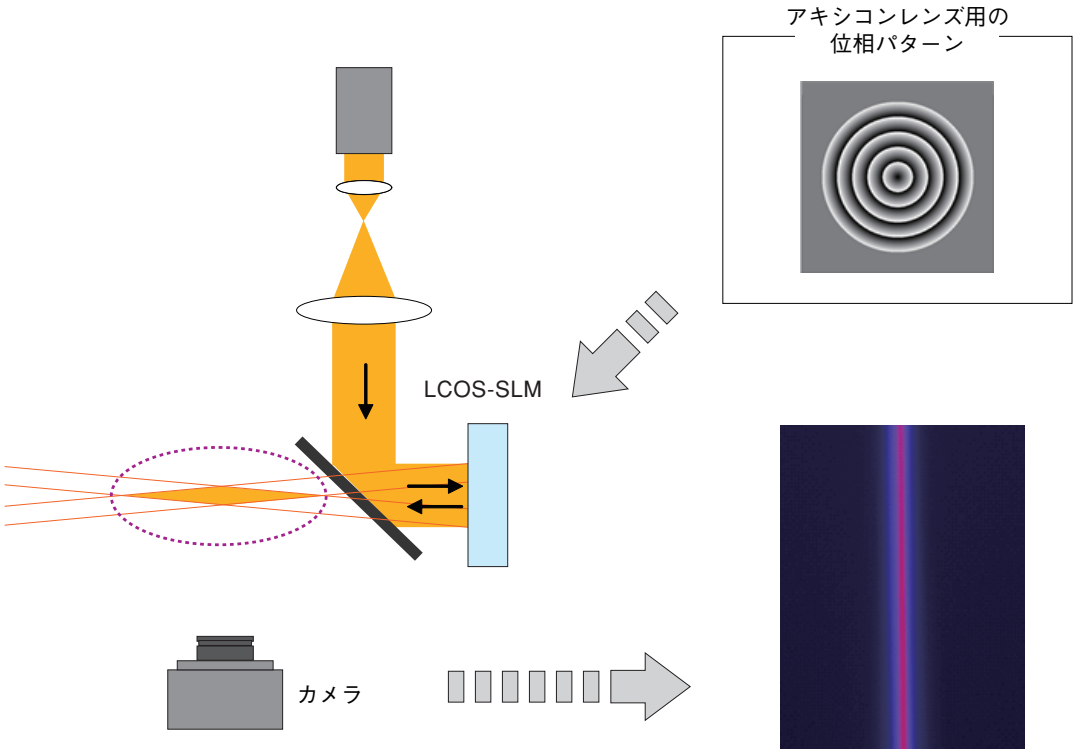
■応用例1: ビーム制御 (レンズ機能, 非回折ビーム生成)

LCOS-SLMはレンズ機能の効果をもつ位相イメージを表示することによって、ベッセルビームなどさまざまなビームを生成・制御することができます。これらのビームは、光シート顕微鏡など最先端の用途に応用されることが期待されています。

●シリンドリカルレンズの機能



●非回折ビームの生成

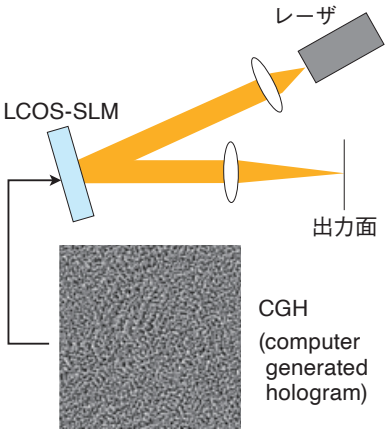


注）応用例1の関連特許
JP4420672, JP4664031, JP4947639, JP5692969

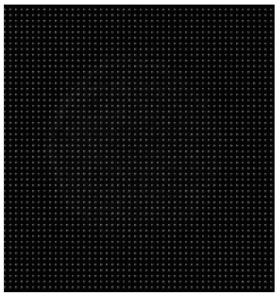
■応用例2: 光ビームパターン成形

LCOS-SLMによって位相型のホログラムを再生し、任意の光パターンを生成する技術です。任意の光パターンを生成する際に、マスクによって光を遮蔽するこれまでの強度変調方式とは異なり、光を位相型ホログラムにより分配することで、高効率なパターン生成ができることが大きな特長です。

●光学系



鮮明なCGH再生像 (+1次光)


0次を抑圧した50 × 50点生成

文字列再生例 (+1次光)

注）応用例2の関連特許
JP4420672, JP4664031, JP4947639

■その他の関連特許

JP4606831, JP4804358, JP5046331, JP5167274, JP5191678, JP5270142, JP5749544, JP5779359, JP5779360, JP5809420

■注意事項

・製品に関する注意事項とお願い
https://www.hamamatsu.com/jp/ja/support/disclaimer.html

●本資料の記載内容は2024年6月現在のものです。製品の仕様は、改良等のため予告なく変更することがあります。

浜松ホトニクス株式会社 www.hamamatsu.com

□仙台営業所 〒980-0021 仙台市青葉区中央3-2-1（青葉通プラザ11階） TEL (022)267-0121 FAX (022)267-0135
□東京営業所 〒100-0004 東京都千代田区大手町2-6-4（常盤橋タワー11階） TEL (03)6757-4994 FAX (03)6757-4997
□中部営業所 〒430-8587 浜松市中区砂山町325-6（日本生命浜松駅前ビル） TEL (053)459-1112 FAX (053)459-1114
□大阪営業所 〒541-0052 大阪市中央区安土町2-3-13（大阪国際ビル10階） TEL (06)6271-0441 FAX (06)6271-0450
□西日本営業所 〒812-0013 福岡市博多区博多駅東1-13-6（いちご博多イーストビル5階） TEL (092)482-0390 FAX (092)482-0550
□レーザ事業部 営業推進グループ 〒438-0193 静岡県磐田市下神増314-5 TEL (0539)63-0230 FAX (0539)62-2205

Cat. No. LLAP3009J06
JAN 2025 IP