

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月24日現在

機関番号：24402
 研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2009～2011
 課題番号：21560359
 研究課題名（和文） 立体表示のための3次元画像情報の構築と表示用微小光素子の研究

研究課題名（英文） Research on construction of three-dimensional image information and micro optical devices for stereoscopic display

研究代表者

會田 田人 (AIDA TAHITO)
 大阪市立大学・大学院工学研究科・教授
 研究者番号：50381976

研究成果の概要（和文）：カラー画像と距離画像を同時取得する Axi-Vision カメラの画像データから、各種の立体表示方式に適用可能な、半遮蔽の少ない3次元画像情報を構築する手法を考案した。ポリマー材料を犠牲層として微小な中空構造を形成する作製プロセスを考案し、ポリマー回折格子型光変調素子を作製した。ナノインプリントとフォトリソグラフィを併用する作製プロセスにより、ポリマーDFB レーザーと積層型ポリマーマイクロリング光共振器の作製と動作に成功した。

研究成果の概要（英文）：A method to generate three-dimensional image information with less occlusion from image data captured by Axi-Vision Camera, which can take a set of color image and depth image, was proposed and successfully examined. A new process technique to make a narrow air-gap using polymer sacrificial layer was developed and was successfully applied to fabrication of polymer grating light modulators. A combined nanoimprint and photolithography for polymer optical devices was developed. Using the combined lithography, polymer DFB lasers and vertically coupled polymer micro-ring optical resonators were fabricated and successfully operated.

交付決定額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|-----------|-----------|-----------|
| 2009年度 | 2,100,000 | 630,000 | 2,730,000 |
| 2010年度 | 800,000 | 240,000 | 1,040,000 |
| 2011年度 | 800,000 | 240,000 | 1,040,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 3,700,000 | 1,110,000 | 4,810,000 |

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電子デバイス・電子機器

キーワード：①光素子 ②ポリマー ③ナノインプリント ④フォトレジスト ⑤光制御
 ⑥レーザー ⑦マイクロリング光共振器 ⑧ SU-8

1. 研究開始当初の背景

申請者は、平成16年度より大学に移籍し、前勤務先（NHK放送技術研究所）で開発した3次元カメラ Axi-Vision の画像データ（カラー画像と距離画像）から立体像を再現する方法とデバイスの研究に着手し、距離画像多重方式、Integral Photography（IP）及びホログラフィによる立体表示に成功した。また、並行して、表示用のポリマー微小光素子の試作も進めた。これらの立体表示の研究により、汎用的な形式の3次元画像情報を介して立体情報の入力（撮像）と出力（表示）を行うシステムの着想に至った。

(1) 3次元画像情報は、多視点画像から構築できるが、用意すべき多数視点画像の数とともに、距離検出にも多大な計算量を要することが課題ある。一方、Axi-Vision は距離画像を実時間で取得できるが、単眼撮像である。その画像情報は、視点を上下左右に移動した場合に側面情報が欠ける、いわゆる2.5次元画像情報である。しかし、視点の異なる数台の Axi-Vision 画像データを融合すれば、半遮蔽の少ない3次元画像情報を構築できる可能性がある。そして、目的や状況に適した方式の立体表示に応用できれば、新たな立体画像システムの可能性を示すことができる。

(2) 立体表示の研究から、ミラー、レンズ、光変調素子などの微小光素子の必要性が改めて認識された。これらの素子の研究は活発であるが、表示用としてはアレイ化と大面積化が不可欠である。このような経緯から、ポリマー用いた微小光素子の研究に取り組んでいる。これまでに、エポキシ系レジストSU-8を用いてフォトリソグラフィにより、2レベル微小フレネルレンズアレイと、静電駆動型回折格子型光変調素子(GLM)アレイを試作し、機能検証に成功した。さらに、3次元成形ナノインプリントによる4レベル微小フレネルレンズの試作と、希土類や色素をドーピングすることによる発光機能付与の基礎実験を進めた。このようにSU-8などのポリマー材料は、フォトリソグラフィとナノインプリントの併用による成形と、光学活性材料等の混合による有用な物性発現の可能性を有する。

申請者は、以上のような背景と経緯から、様々な立体表示方式に応用できる汎用的な3次元画像情報の構築と表示等に応用できるポリマー微小光素子の研究に取り組むに至った。

2. 研究の目的

(1) 3次元画像情報の構築の研究では、異なる視点から Axi-Vision で撮像した複数の2.5次元画像情報（距離画像とカラー画像の情報）から、それらの位置関係（回転行列と並進ベクトル）を、距離画像とカラー画像の情報を有効に利用することにより、高速かつ高精度に求める手法を開発する。

位置関係の確定した複数の2.5次元画像情報にモーフィングや補間の手法を適用して、半遮蔽の少ない3次元画像情報を構築する手法を開発する。

(2) 微小光素子の研究については、SU-8を主材料として、フォトリソグラフィおよびナノインプリントを活用し、2次元構造、3次元構造、中空構造など、微小光素子の微細構造を精度良く成形する技術を確立する。この微細構造成型技術を活用して光変調素子、微細発光素子などの光素子を作製する。さらに光通信応用への展開も考慮して光共振素子の試作を進め、ポリマー微小光素子の可能性を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 3次元画像情報の構築の研究では、単眼 Axi-Vision 画像データ（カラー画像と距離画像から成る2.5次元画像情報）の弱点を克服すべく、異なる視点から撮影した複数の2.5次元画像情報を用いて、半遮蔽の少ない3次元画像情報を構築する。

①距離画像に ICP(Iterated Closest Point)法を適用して、異視点の画像間の位置関係を表す回転行列と並進ベクトルを求める。さらにカラー画像の情報を利用して ICP 法の収束を補う手法を検討する。

②位置関係を特定された複数の2.5次元画像情報にモーフィングや補間の手法を適用して、半遮蔽の少ない3次元画像情報を構築する手法を開発する。

③3次元画像情報の構築手法の性能評価として、構築した3次元画像情報から任意視点から見た画像を再構築し、その画質の評価を行う。

(2) 微小光素子の研究については、エポキシ系ポリマーフォトレジストのSU-8を主材料として、表示用光素子に使う微細構造の考案と作製法の開発、さらに他分野の機能の光素子の考案・設計と試作の研究を行う。このため、以下のデバイスの設計と試作に取り組むことにより研究の遂行を図る。

①通常使用される犠牲層材料のアルミに替えて、ポリマーを犠牲層として用いてサブミクロンの中空構造を作製する全ポリマ

ープロセスを開発し、回折格子型光変調素子の静電駆動機構に応用する。

- ②発光材料をドープしたポリマーの薄膜化と微細構造の成形技術を確認し、立体表示に利用できる自発光型光微小素子を考案試作する。
- ③フォトリソグラフィとナノインプリントを併用して積層型微細構造を作製する新たな作製プロセスを開発し、積層型ポリマーリング光共振器の作製に応用する。

4. 研究成果

(1) 3次元画像情報の構築の研究

- ① 図1に示すように視点を±10° ずつ回転した AxiVision カメラの距離画像 (a) -10°、(b)+10°、(c)0° の間の位置関係を表す回転行列 R と並進ベクトル T を、ICP法を適用して求めた。

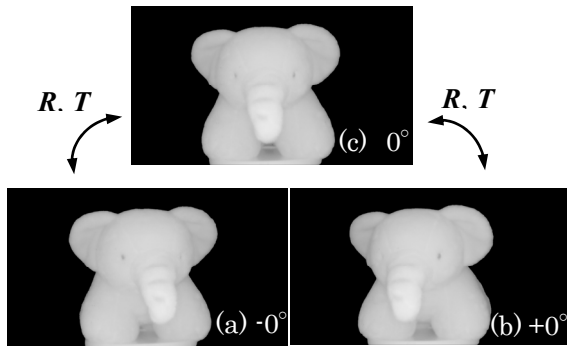


図1 AxiVision 距離画像

その結果、以下の結果が得られた。

(a)から(c) +10° 回転の場合、

$$R = \begin{pmatrix} 0.986615 & -0.036747 & 0.158512 \\ 0.037192 & 0.999222 & 0.000292 \\ -0.158631 & 0.005806 & 0.981650 \end{pmatrix}$$

$$T = (-211.814498 \quad -2.202189 \quad 19.881648)$$

X軸まわり： $\psi = 0.34^\circ$

Y軸まわり： $\theta = 9.13^\circ$

Z軸まわり： $\phi = 2.19^\circ$

(b)から(c) -10° 回転の場合、

$$R = \begin{pmatrix} 0.983987 & 0.023308 & -0.176394 \\ -0.022903 & 0.999667 & 0.004077 \\ 0.176694 & -0.000199 & 0.980758 \end{pmatrix}$$

$$T = (235.415277 \quad -6.244925 \quad 28.368989)$$

X軸まわり： $\psi = -0.012^\circ$

Y軸まわり： $\theta = -10.18^\circ$

Z軸まわり： $\phi = 1.36^\circ$

これらの R と T の回転と並進を図1(a)と(b)それぞれの距離画像に施した結果、図2(a)と(b)に示すように、図1(c)と同じ元の姿勢の被写体の画像に変換されることが確認され、この手法の有効性が確認された。

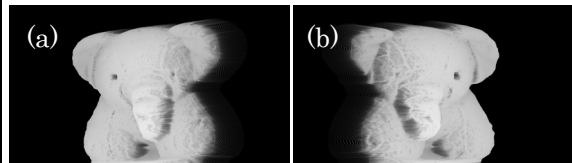


図2 図1(a)(b)に回転 R と並進 T を施した画像

(a) 図1(a)から変換 (b) 図1(b)から変換

- ②視点を10° ずつ移動して周囲から被写体を撮影した AxiVision 画像データを統合して3次元画像情報を構築した。この際、隣接する画像の結合には、上記の①で述べたICP法によって求めた R と T を使用した。さらに、滑らかに結合するため、結合部付近には双方の画像の加重平均を充てるとともにローパスフィルタ処理をかけた。図3は構築した3次元画像情報のカラーマップである。



図3 3次元画像情報のカラーマップ

- ③構築した3次元画像情報から、任意視点から見た画像を再構築した。図4(a)(b)は3次元画像情報の構築に用いた AxiVision 画像データの一部(-10° と-20° の視点からのカラー画像)である。図4(c)は再構築した-15° 視点からの画像である。

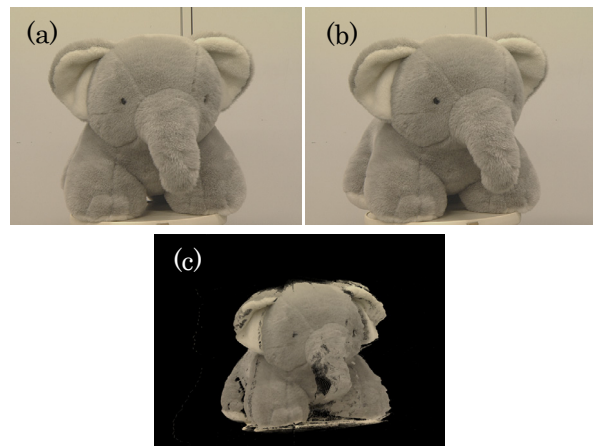


図4 任意視点(-15°)画像の再構築

(a) -10° (b) -20° AxiVision 画像データ
(c) -15° 再構築画像

(2) 微小光子の研究

①リフトオフ用に開発された LOR レジストを犠牲層として用いて、サブミクロンの中空構造を作製した。この構造を、既に作製と動作実験に成功している回折格子型光変調素子の静電駆動機構に応用した。プロセスを全ポリマー化して工程を簡素化することに成功した。この方法で作製した SU-8 回折格子型光変調素子の中空構造を図 5 に示す。

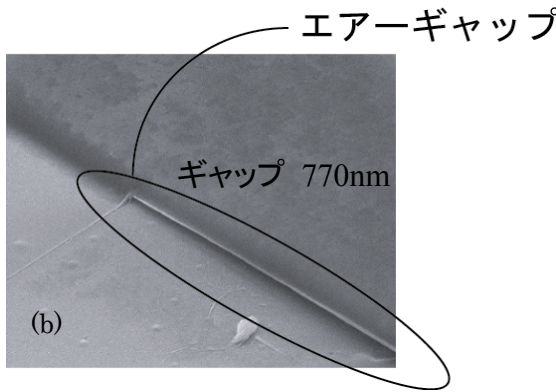
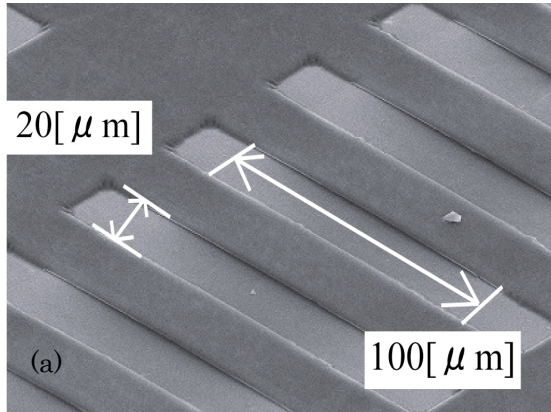


図 5 LOR 犠牲層で作製した SU-8 回折格子型光変調素子の中空構造。
(a) 回折格子の梁、(b) 梁の下の中
空構造 (エアギャップ) の拡大図

②発光材料として色素 Rhodamin6G (R6G) をドーブした SU-8 ポリマーを回折格子付き光導波路に加工し、光励起による DFB レーザーを作製した。主な作製プロセスは、ナノインプリント用石英モールドの作製、光ナノインプリントによる回折格子付き光導波路溝の成型、導波路溝への SU-8 の充填である。

石英モールドの作製は以下の手順で行った。まず、石英基板上に塗布した AZ1500 レジストに、波長 369nm の紫外線レーザーによる二光束干渉法で周期 556nm の干渉縞を露光して現像し、AZ-1500 の回折格子を形成した。次に、石英と AZ-1500 のエッチング速度が等しくなる条件でリアク

ティブイオンエッチング (RIE) を行うことにより、AZ-1500 の回折格子を石英基板に転写して、石英モールドとした。図 6 (a) は作製した石英モールドの回折格子を示す。

この石英モールドを用いて、紫外線硬化樹脂 PAK-01 に光ナノインプリントで転写し、R6G ドープ SU-8 を充填することにより、図 6 (b) の断面を持つ回折格子付きスラブ型光導波路を作製した。波長 532nm の YAG レーザーをストライプ状にしてこのスラブ型 (平面型) 回折格子付き光導波路を光励起した時、図 7 に示すように発振波長 587nm の DFB レーザー発振を確認した。

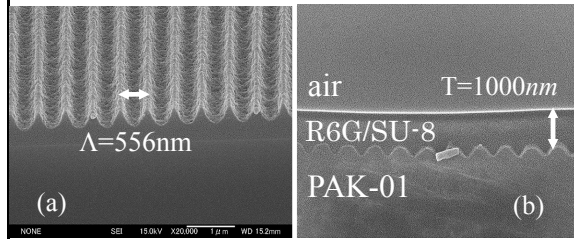


図 6 (a) 石英モールドの回折格子
(b) スラブ型回折格子付き光導波路の断面

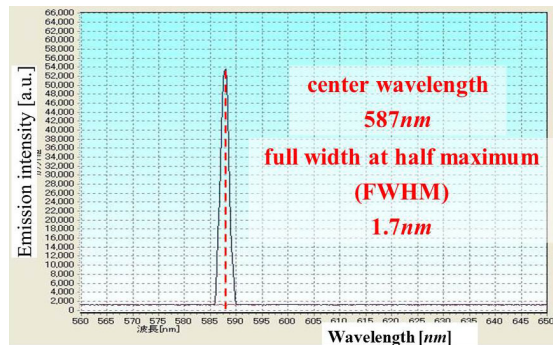


図 7 DFB レーザーの発振スペクトラム

上述のスラブ型回折格子付き光導波路の研究に引き続き、リッジ型回折格子付き光導波路の試作を進めた。まず、光ナノインプリントと SU-8 を充填する作製プロセスで図 8 のリッジ型光導波路を作製し、波長 633nm の HeNe レーザーの光導波を確認した。損失は約 3dB/cm であった。

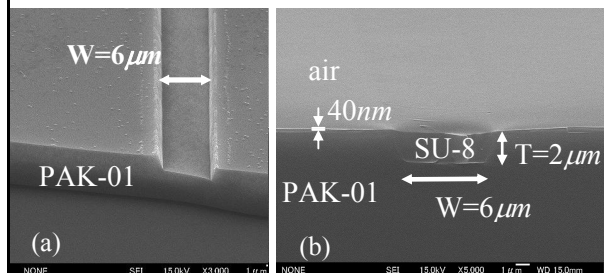


図 8 (a) 光ナノインプリントで形成した溝
(b) リッジ型 SU-8 光導波路の断面

次に、リッジ型回折格子付き光導波路の作製を試みた。図9は光ナノインプリントでPAK-01に形成した回折格子付きの溝である。この溝にR6GドープSU-8を充填し、リッジ型回折格子付き光導波路を作製した。この光導波路を波長552nmのレーザーで励起したところ、中心波長595nm、FWHM10nmのレーザー発振と見られる発光が観測された。広い半値幅は、傾斜したリッジ側面に形成された回折格子が原因と考えられる。発振スペクトル線幅の狭窄化は、モールドの作製技術を向上することにより、達成できると考えている。

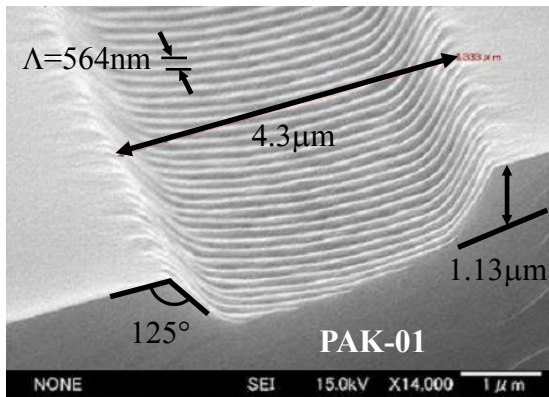


図9 PAK-01に光ナノインプリントで形成した回折格子付き導波路溝

以上のように、多数のサブミクロンの微細構造を一括成型できるナノインプリントを活用することにより、回折格子付き光導波路のような複雑な3次元微細構造を有する光素子を作製できることを示した。本研究の成果は平成23年に国際会議で発表の後、詳細をまとめて外国のジャーナルに投稿した。現在、査読中である。

- ③ナノインプリントとフォトリソグラフィを併用して、積層型微細構造を作製する新たな作製プロセスを開発した。この積層型構造は、下層には比較的複雑な3次元的微細構造をナノインプリントによって一括成形し、上層には導波路のような単純な2次元構造を通常のフォトリソグラフィによって作製する。そして、上層と下層は中間層を介してエバネッセント光で結合しようとするものである。

本研究では、下層と上層の微細構造の媒質とそれらを埋め込む周囲媒質にはそれぞれ、SU-8とフッ素系ポリマーのCYTOPを選択した。SU-8とCYTOPは、透明性が高いことに加えて、SU-8の屈折率が約1.56に対してCYTOPのそれは約1.33と低屈折率であるため、それぞれをコアとクラッドとする構造の光素子に適した、高い

光閉じ込めが期待できる組み合わせとなっている。また、CYTOPはSU-8の作製プロセスにも耐えうる耐化学性と耐熱性を有しており、この積層構造の作製に適している。

図10と図11はそれぞれ、作製した積層型ポリマーリング光共振器の構造と光学顕微鏡写真を示す。光波長は1.5μm帯とした。下層は、CYTOPに熱ナノインプリントで成形した溝にSU-8を充填して作製した、幅5μm、厚さ1μm、直径60μmの光導波路リングである。下層の上に厚さ0.5μmの中間層CYTOPと1μmのSU-8を塗布した後、通常のフォトリソグラフィによって幅5μm、厚さ1μmの入出力用の光導波路を作製した。

図12と表1は、積層型ポリマーリング光共振器の波長1.5μm帯の共振特性である。中間層の膜厚さの制御が容易であるため、光導波路リングと入出力光導波路との結合度を設計値通りに作製することが可能である。表1に示すとおり、ほぼ理論値(設計値)に近い特性が得られた。

現在、これらの結果を国際会議で発表するとともに外国のジャーナルへ投稿するため、準備を進めている。

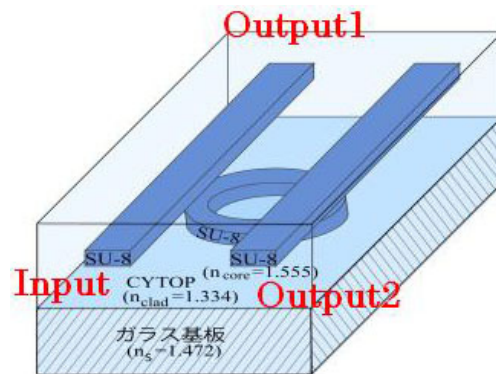


図10 積層型ポリマーリング光共振器の構造

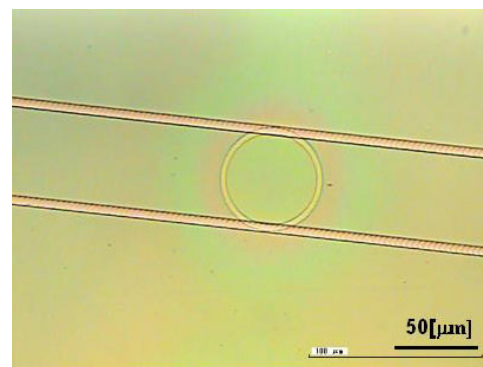


図11 積層型ポリマーリング光共振器 (光学顕微鏡像)

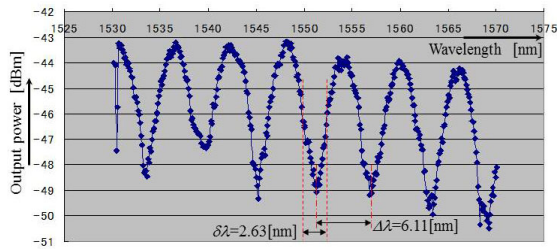


図 1 2 積層型ポリマーリング光共振器の共振特性 (幅 $5\mu\text{m}$ 、厚さ $1\mu\text{m}$ 、直径 $60\mu\text{m}$) (TE モードの Input から Output への伝達特性)

表 1 共振特性の実測値と理論値

| | TE モード (実測値) | TM モード (実測値) | TE モード (理論値) |
|----------------------------|--------------|--------------|--------------|
| 中心波長[nm] | 1551.2 | 1551.8 | 1550 |
| $\delta\lambda$ [nm] | 2.63 | 3.51 | 3.37 |
| Q 値 | 590 | 442.1 | 459 |
| F S R $\Delta\lambda$ [nm] | 6.11 | 5.90 | 8.69 |
| フィネス | 2.32 | 1.68 | 2.58 |
| 減衰幅[dB] | 6 | 4 | |

6. 研究組織

(1) 研究代表者

會田 田人 (AIDA TAHITO)

大阪市立大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：50381976

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計 4 件)

- ① T. Aida, T.Tokuhara, H. Matsukawa and H.Kumagai, "SU-8 ridge waveguide with holographic grating embedded in nano-imprinted groove", 37th Intern. Conf. on Micro and Nano Engineering (MNE2011), P-LITH-054, p. 87, 2011 年 9 月 12 日、ドイツ、ベルリン
- ② T.Tokuhara, S. Asahi, Y. Aoki, H.Kumagai and T. Aida, "SU-8 Filled Waveguide With Holographic Grating for DFB Laser Buried In Nanoimprinted Grooves", 9th Intern. Conf. Nanoimprint and Nanoprint Technology (NNT2010), pp. 70-71, 2010 年 9 月 13 日 デンマーク、コペンハーゲン
- ③ 徳原敬男、朝日秀介、青木優太、熊谷寛、會田田人、「SU-8 埋め込み型ホログラフィック回折格子付き光導波路の作製」第 71 回 (2010 年秋季) 応用物理学会講演会、15P-G-7、2010 年 9 月 15 日、長崎
- ④ 田中友博、林俊介、會田田人、角井良治、富田豊、「Axi-Vision 画像データを用いた 3 次元情報の生成」3 次元画像コンファレンス 2009、P-11, pp. 125-128, 2009 年 7 月 10 日、東京