

事例 部品成形

光ファイバセンサによる 温度・ひずみ計測システムの金型への適用

(株)富士テクニカルリサーチ 高原 忠良*

ハード・ソフトの能力向上により、解析を活用したエンジニアリング (CAE) は身近なものとなっている。これに伴い、CAE の妥当性の吟味がより重要となっている。光ファイバをセンサとして温度・ひずみを計測する「FBI-Gauge¹⁾」を活用することで、これ

まで不可能であった型内の温度・ひずみの広範囲での分布計測が可能となった。1 秒間に 250 回まで計測できるため、加工中の動的な変化も捕捉可能である。CAE の検証とともに、型内挙動のリアルタイムモニタリングのツールとしても活用が拡大している。本稿では、計測システムの特徴と金型への適用事例を紹介する。

*Tadayoshi Takahara：名古屋テクニカルセンター
〒460-0008 名古屋市中区栄 5-28-19
TEL (052) 269-1321

光ファイバ計測システム FBI-Gauge の特徴と原理

図 1 に、ファイバセンサとひずみゲージとの寸法比較、システムの特徴、ファイバの取付け方を示す。ファイバ径は $155\mu\text{m}$ であり、型内やごく局部への取付けも可能である。計測ピッチは最小 0.65mm ごとに、また、最長 50m にわたっての計測も可能である。光ファイバがセンサとして機能する計測方法であり、光ファイバを型内に設置することで型内の変化をリアルタイムに計測可能となる。外部からの観察手法である、画像相関法によるひずみ計測や放射温度計による温度計測では得られない、型内挙動の観察が可能

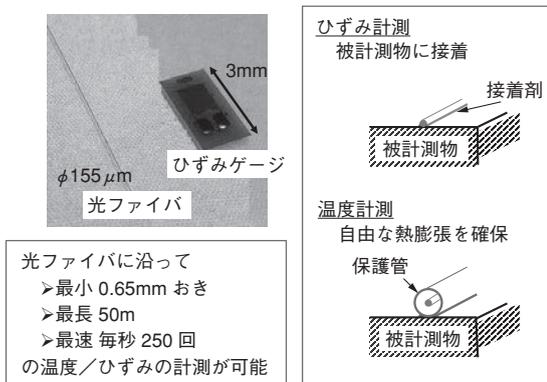


図 1 光ファイバの特徴と取付け方

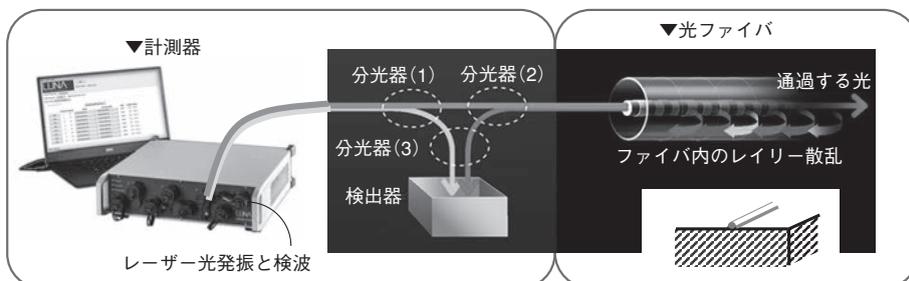


図 2 計測原理

となることも大きな特徴である。

図2に計測原理を示す。ファイバを構成する石英ガラスの密度や組成の揺らぎなどにより、ファイバの局所ごとでレイリー後方散乱が生じる。各散乱は部位ごとに特有の周波数分布を呈している。いわば、ファイバごとの固有指紋情報である。OFDR (Optical Frequency Domain Reflectometry) 方式で入射光の波長を連続的に変化させることでファイバの位置情報を取得する。すなわち、波長可変レーザー光源からの直接光と光ファイバ各部位からの反射光とにより干渉光が生じる。その周期から得られる光路差によりファイバ位置 (距離) を特定できる。

また、光ファイバに外力がかかった場合、レイリー散乱光のピーク周波数が微小に変化する。この変化量 (周波数シフト量) を温度あるいはひずみに換算するという計測原理である。

射出成型型挙動の詳細観察への適用と CAE を活用した考察²⁾

射出成型金型の可動型・固定型にそれぞれ1本の光ファイバを取り付け、成形運転中の温度とひずみを連続的に計測した事例を紹介する。図3に金型の概要と光ファイバの取付け状況を示す。可動型・固定型それぞれに R1 mm の溝加工を施し、その溝に、ひずみ用・温度用それぞれの取付け方法でファイバを配置してある。表に実験条件と使用機器類を示す。

1. Step.1 : 型内現象の温度・ひずみの同時計測

図4は、型温度の分布コンター図と一成形成サイクル中の経時変化グラフである。グラフから、キャビティ外に相当する位置の T1 ではほとんど型温度が変化しないこと、流動端末に相当する T3 では、ゲート直下に相当する T2 を基準とすると、約 2.5 秒遅れて型温度が上昇し始めることが確認できる。

図5は、型ひずみの分布コンター図と一成形成サイクル中の経時変化グラフである。コンター図から、金型の長辺方向では引張りひずみ、短辺方向では圧縮ひずみという特徴的なひずみの分布が確認できる。グラフからは、型締め昇圧完了に相当する成形開始約 2

表 実験条件と使用機器類

使用樹脂	(株)プライムポリマー製 ポリプロピレン J-650 HP
成形機	東芝機械(株)製 射出成形機 EC 220 N-16 A
成形条件	樹脂温度：210℃ 射出速度：30 mm/s 保圧条件：70 MPa、5 sec 冷却時間：30 sec 雰囲気温度：3℃ 金型初期温度：40℃ サイクルタイム：65 sec/サイクル
使用機器	(株)富士テクニカルリサーチ製 光ファイバセンシングシステム FBI-Gauge A-Type
光ファイバ	長さ 3 m 2本 (可動側1本、固定側1本)

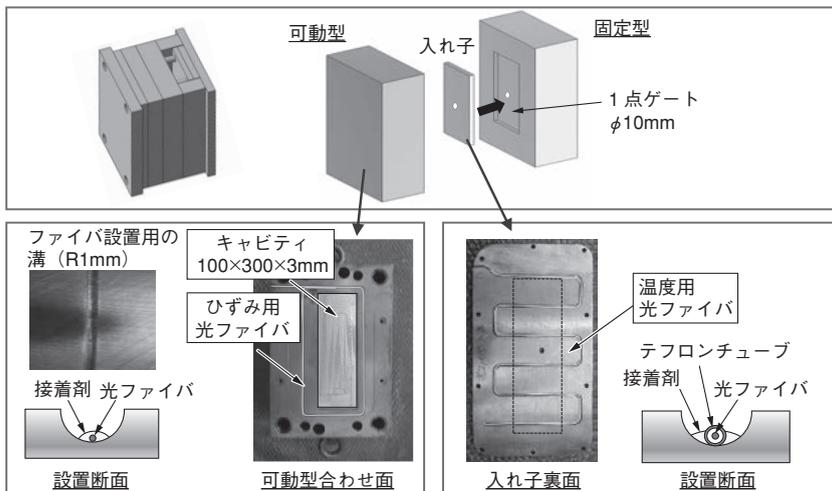
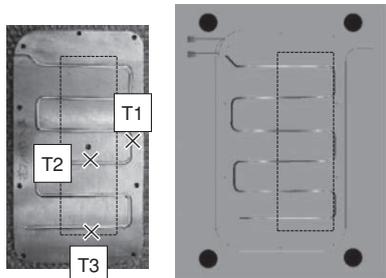
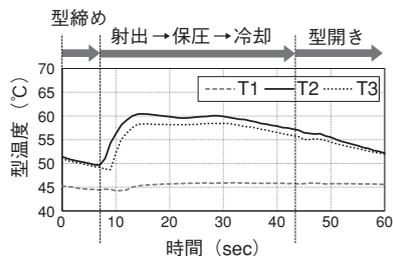


図3 金型の概要と光ファイバの取付け状況

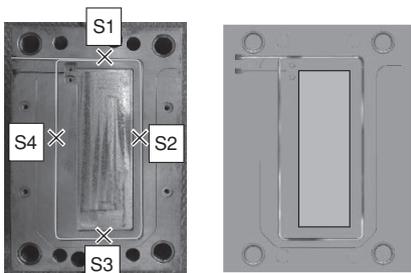


(a) 型温度の分布
@13秒

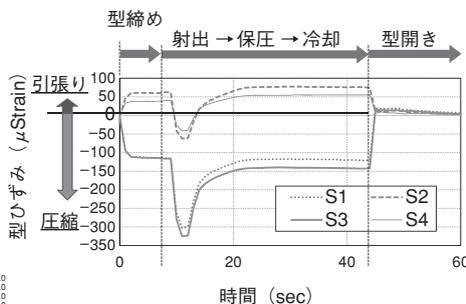


(b) 1 サイクル中の型温度の変化
(代表3点で表示)

図4 型温度の分布カウンター図と経時変化

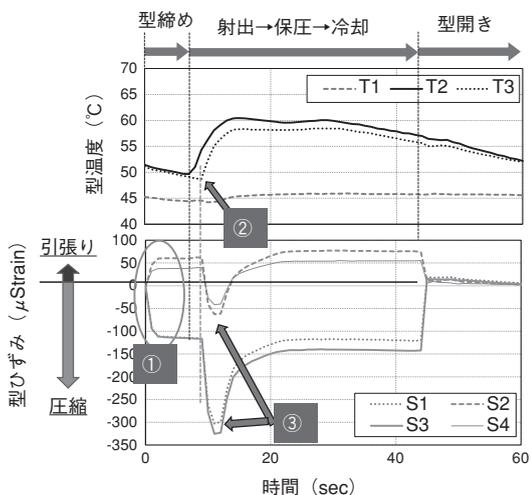


(a) 型ひずみの分布 (μStrain)
@13秒



(b) 1 サイクル中の型ひずみの変化
(代表4点で表示)

図5 型ひずみの分布カウンター図と経時変化



- ① 型締めによるひずみは、圧縮部・引張部で分布
- ② 射出から2.5秒後に端末T3の型温度が上昇
- ③ 同時に型全体で圧縮ひずみ発生

図6 1成形サイクル中の型温度と型ひずみの変化

秒後にひずみが安定した後、射出開始から約2秒後に表記した4点すべてで100~200 μ Strain程度の圧縮ひずみが生じていることがわかる。ピーク以降は徐々に圧縮ひずみが低減する。

図6は、型温度と型ひずみを時間軸を揃えて表記したグラフである。圧縮ひずみが生じるタイミングは、全点で流動末端であるT3の型温度上昇のタイミングと一致している。

2. Step.2: 計測した現象の考察

計測した特異な現象をCAEも活用して考察した。まず、型締めとともに型ひずみに分布が生じる原因を検討した。型締めとともにひずみが生じていることから、型締め力による金型の弾性たわみによるひずみと推察し、型締め力に相当する2,000 kNを負荷した型剛性解析を「Abaqus」で実施した。図7に計測結果とCAE結果の比較を示す。ほぼ同様のひずみ分布を示しており、型締めによる型変形のためであることが確認できた。

次に、キャビティ末端の温度が上昇を開始するタイ

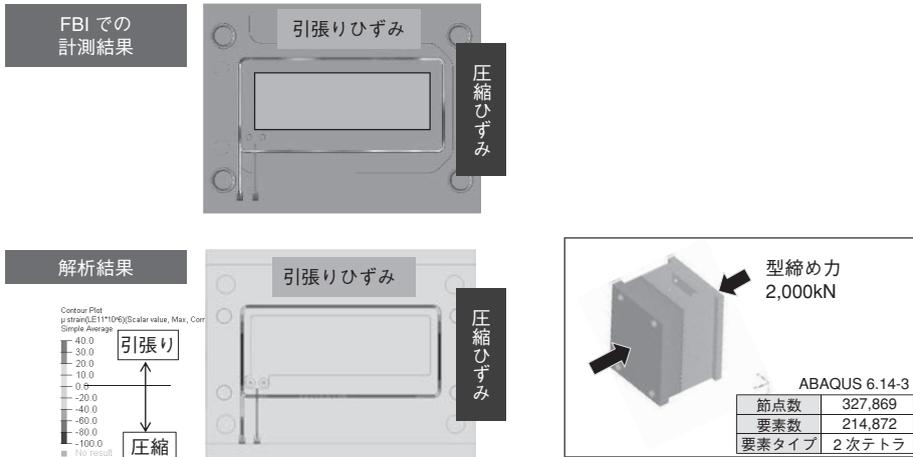


図7 型剛性解析による型締め時のひずみ分布の検討

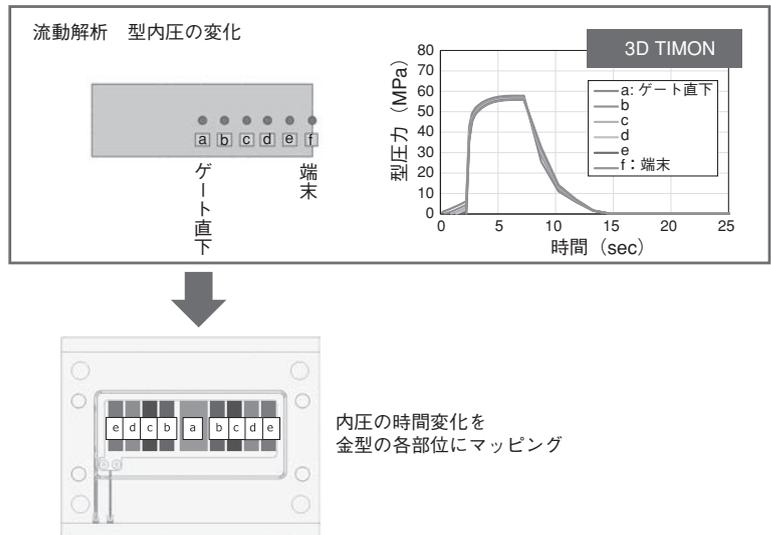


図8 流動解析での型の各部位の圧力変化とその挙動の型剛性解析との連成

ミングで、型全体に圧縮ひずみが生じる現象を考察した。端末まで樹脂が流動したタイミングで生じている状況から、流入した樹脂の影響と考えられる。まず、東レエンジニアリング(株)製の「3D TIMON」による流動解析で型内各部位での樹脂圧力の経時変化を求めた。次に、この時間変化を型の各部位の入力荷重とし、型剛性を解析した。図8は、流動解析による樹脂圧力の経時変化と、その結果の型剛性解析へのマッピングである。図9にCAEと計測結果の比較を示す。変化挙動が合致しており、ひずみ量もおおむね一致していることから、推察どおりの型変形が生じていると考えられる。

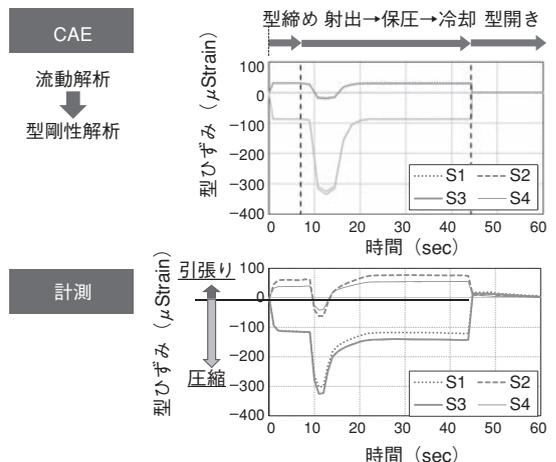


図9 CAEと計測結果の比較

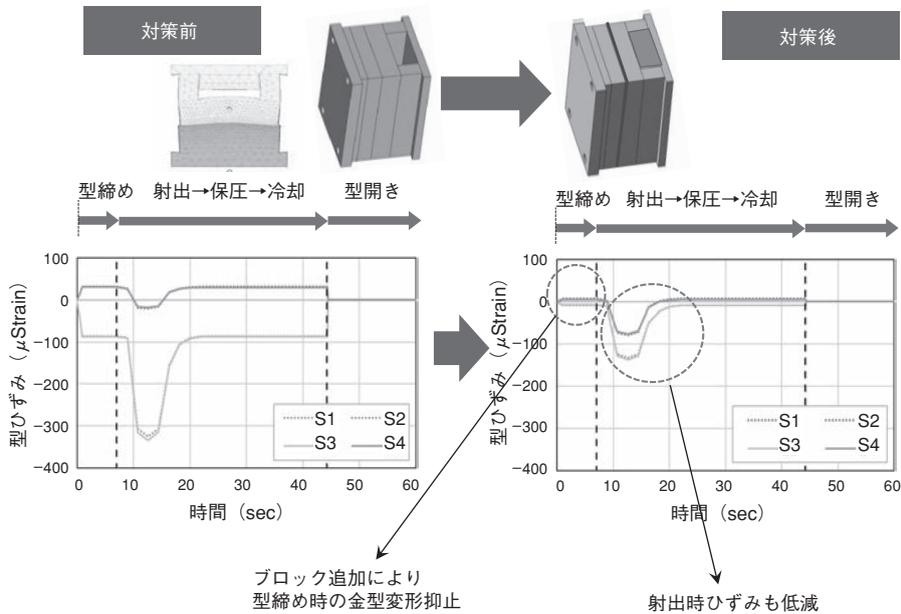


図 10 ブロック追加による型変形対策の効果

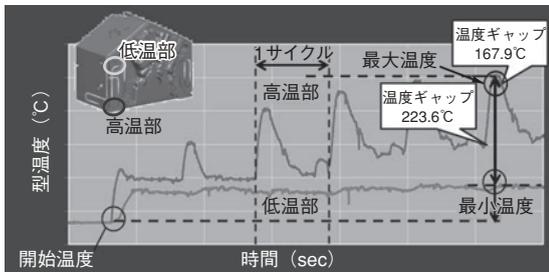


図 11 ダイカスト金型における温度の分布と経時変化

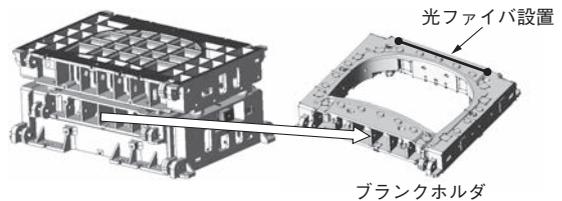


図 12 プレス金型のブランクホルダへの光ファイバ設置状況

3. Step.3 : 型変形対策案のデジタル検討

型締めによる型たわみ挙動から、型上下のポケット形状の問題と推察し、上下それぞれにブロックを設定した。実際には市販のモールドベースを活用しており、エジェクタプレートの前後運動の関係上、このブロックの設定は大規模な型改造となるためにデジタル的に検討した。

図 10 はブロックの有無での差異である。ブロックの追加により、型締め時のひずみ分布がほぼゼロとなり、さらに樹脂充填時の圧縮ひずみもおおよそ 1/3 程度に低減しており、バリ発生の抑止効果もあるものと推定された。

以上をまとめる。光ファイバをセンサとした計測システムで、温度・ひずみを同時かつ広範囲の分布とし

て連続的に計測することが可能となった。光ファイバを型内に設置することで、型内の詳細挙動を観察した。その結果、型締めに伴うひずみ分布、樹脂充填による金型への圧縮ひずみの発生といった挙動を捉えることができた。さらに、CAE を組み合わせることで、現象検討の深掘りや型変形対策も可能となった。

適用事例

1. ダイカスト金型

ダイカストにおける重要な課題はバリの抑制である。バリの要因の一つである型温度分布とその成形ごとの変化の把握が重要となるが、従来の手法では計測が困難であった。本計測システムによる計測結果例を図 11 に示す。入れ子部における温度分布から高温部位を把

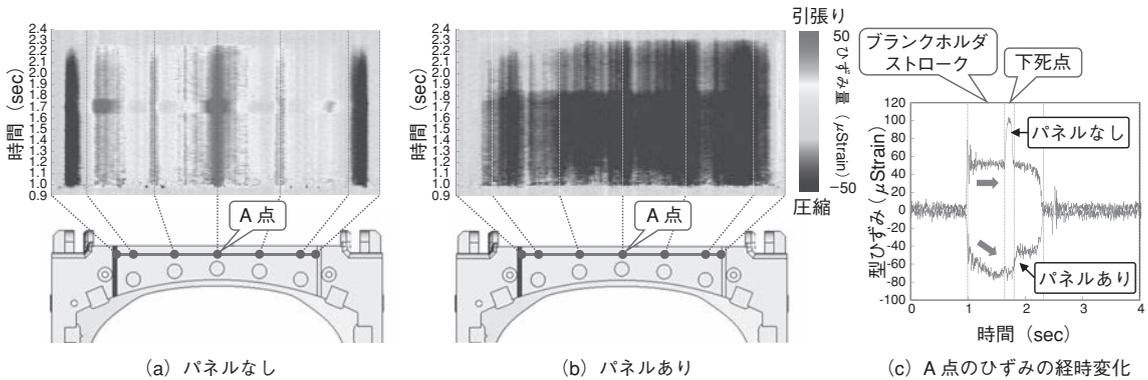


図 13 ひずみの分布と経時変化のパネル有無での比較

握した。その部位での成形サイクルごとの急激な温度変化や入れ子への蓄熱による温度上昇が確認できる。

2. プレス金型

これまでではプレス金型の広範囲でのひずみの動的変化の計測は困難であった。ここでは、プレス金型のブランクホルダ部のひずみ挙動の計測例を紹介する。図12はブランクホルダへの光ファイバの取付け状況、図13はプレス用鉄パネルの有無によるひずみ計測結果の比較である。同図(a)、(b)上部のコンター図は、横軸が光ファイバ長手方向のひずみ分布を、縦軸が下から上に向かって、プレス成形の経過を示している。

☆

ここ数年で活用が急拡大している光ファイバ計測システムの特徴と原理を説明するとともに、金型に適用

した事例を紹介した。センサとしては光ファイバを使用するが、その直径はわずか $155\mu\text{m}$ であり、かつ光ファイバの長さ全域で計測が可能であり、型内の広範囲の計測が可能である。さらに光ファイバの適用方法を創出することで、これまで把握できていない型の挙動の把握も可能と考えられ、適用の拡大が期待される。また、連続的な計測も可能であり、生産中のモニタリング装置としても期待される。

参考文献

- 1) 富士テクニカルリサーチ ウェブサイト：
https://ftr.co.jp/solution/hardware/fbi_gauge/
- 2) 高原、名取、大友、高橋、今井：計測・CAEを活用した原理原則回帰の成形加工、成形加工 '19(2019)、p.11

『プレス技術』1月号 ★好評発売中!! 定価(本体1,400円+税)

特集 競争力を向上するプレス/板金加工の生産管理手法

<p>■総論</p> <ul style="list-style-type: none"> ●受注生産型部品加工工場の生産管理システムはどうあるべきかほんま 本間峰一 <p>■解説</p> <ul style="list-style-type: none"> ●競争力を強化するプレス加工の工程・生産管理の考え方テクノア 磯野信雄 ●製品価値を生み出す生産革新の実践露木生産技術研究所 露木崇夫 ●生産管理に必要な中小メーカーのデジタルオペレーション技術 ～武蔵野銀行の支援の取組み.....武蔵野銀行 山本碩徳 <p>■実践レポート</p> <ul style="list-style-type: none"> ●生産管理システムの活用で「加工状況の見える化」と「負荷の見える化」を実践～超多品種少量生産の複雑な生産管理に成功.....ナカハラ ●古い機械でも例外なく扱える設備の稼働監視・実績収集システム渡辺製作所 <p>■事例解説</p> <ul style="list-style-type: none"> ●多品種少量生産を行うプレス加工メーカーのニーズを込めた生産管理システムDAIQ(ダイク)の活用法.....野口工業 野口博永 	<p>■機能解説</p> <ul style="list-style-type: none"> ●金型製造から金型管理に展開する「Dr. 工程Family」シーアイエム総合研究所 佐木俊郎 ●クラウド型板金向け生産管理システムTaktory(タクトリー) ～管理システムをクラウド化するメリット.....キョドマック 河村 亮 ●スマホ・ラズパイを使用しIoT機能を付加したISO夢工場生産管理システム.....インテリジェントシステム 小林和郎 ●生産計画、工程管理システムDIRECTOR6の活用法 ～日程・負荷・進捗・実績を連携したトータル管理.....シムトップス 伊藤昭仁 ●「TECHS-BK」の活用による多品種少量生産に適した生産管理テクノア 亀井健一 <p>◆主要記事</p> <ul style="list-style-type: none"> ●「フルードパルス鍛造法」によるヘリカルギアの生産アマダオレイ 山本 一 <p>◆Interview モノづくり革新の旗手たち</p> <ul style="list-style-type: none"> ●高精度サーボプレスでプレス加工の高付加価値化に挑む ——藤放電精密加工研究所 取締役 村田 力氏 <p style="text-align: center;">日刊工業新聞社 出版局販売・管理部 ☎03(5644)7410</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------