

INDI Libraryを用いた  
インターネット望遠鏡のシステム開発

山本 裕樹

東北公益文科大学総合研究論集第44号 抜刷

2023年2月28日発行

# INDI Libraryを用いた インターネット望遠鏡のシステム開発

山本 裕樹

## 1 はじめに

インターネット望遠鏡とは、国内外の遠隔地に設置した無人の天体望遠鏡をインターネットを通じて操作し天体観測を行うためのシステムである[1][2]。筆者らは「インターネット望遠鏡プロジェクト (ITP)」として2003年からインターネット望遠鏡の開発と運用を行っており、だれでも無料で天体観測を行える環境を整えている。さらに2022年からはインターネット望遠鏡を小学校・中学校・高校の教員に授業で活用してもらうための指導案を作成して共有する仕組みである「課題バンク」を公開している[3][4]。

2023年現在でインターネット望遠鏡を設置している地点は、国内では府中市・秋田市・横須賀市・平塚市 (図1参照)、国外ではニューヨーク (アメリカ)・メラーテ (イタリア) である。各地に設置したインターネット望遠鏡は、東北公益文科大学のコントロールサーバーで制御する。ユーザーはコントロールサーバーにWebブラウザでアクセスし、選択した地点のインターネット望遠鏡をコントロールサーバー経由で操作することができる。インターネット望遠鏡の操作はWebブラウザ上で実現された操作インターフェースで手軽に行えるようになっており、PCだけでなくスマートフォンやタブレットでも動作するのが強みである[5]。

インターネット望遠鏡のシステムは当初から五藤光学研究所 (府中市) と筆者が共同で開発を行ってきた。現在あるインターネット望遠鏡のほとんどは五藤光学研究所が設置を行った。

インターネット望遠鏡の機器として、望遠鏡には長らくMeade社 (アメリカ) の自動導入機能を持つLX-200シリーズを使用してきた。しかし、近年、日本でMeade社の望遠鏡が手に入りにくくなり、故障したときの修理もままならなくなっている。インターネット望遠鏡の開発当初は手ごろな自動導入機能を持

つ望遠鏡があまりなかったが、最近では技術の進歩もあって選択肢が増えてきた。そこで別メーカーの望遠鏡への切り替えを考えているが、メーカーや機種が異なれば制御方法も異なるため、インターネット望遠鏡用に新しく制御プログラムを開発するのは時間と開発コストがそれなりにかかるという問題がある。

また、望遠鏡やカメラを直接制御する望遠鏡サーバーはWindowsで動作しており、しばしば不安定になってフリーズしたり勝手に再起動することが何度もあった。望遠鏡サーバーで動作する制御プログラムはWindowsのメジャーアップデートのたびに動作確認に手間がかかるという問題もある。

以上の問題を解決するために、筆者はINDI Library[6]を用いた新しいシステムを開発することにした。INDI Libraryとは、様々な天体観測機器を共通のプロトコルで制御するためのオープンソースソフトウェアである<sup>1</sup>。本稿ではこの新しいシステムについて詳しく述べる。



図 1 東海大学湘南キャンパス（平塚市）のインターネット望遠鏡

## 2 INDI Library

INDI Library (Instrument Neutral Distributed Interface Library) は、様々な天体観測機器を制御するためのプログラムのセットで、INDIサーバー、INDI

---

<sup>1</sup> 似たようなソフトウェアにWindows用のASCOM[7]がある。

ドライバー、開発用ライブラリから構成されるオープンソースソフトウェアである。図2のようにINDIサーバーとINDIドライバーで機器を制御し、INDIクライアントからINDIサーバー経由で機器を操作できる。

INDIサーバーはINDIデバイスとINDIクライアントをつなぐハブの役割を持つプログラムである。INDIサーバーは使用したい機器に対応したINDIドライバーと組み合わせて動かす必要がある。

INDIドライバーは機器と直接通信して制御するためのプログラムで、機器に応じて様々な種類がある。INDIドライバーはINDIサーバーと組み合わせて動かすことで機器のプロパティを定義し、INDIサーバーとやりとりをする。

INDIクライアントはINDI Libraryに含まれないが、INDIサーバーに接続してユーザーが機器を操作するためのフロントエンドソフトウェアである。代表的なものにKStars, Ekos, Cartes Du Cielがある。中にはスマートフォンで動作するものもある。

INDI Libraryの主な特徴は以下の通りである。

- オープンソースソフトウェア

主にC++で構築されたオープンソースソフトウェアであり、ライセンスはGNU LGPL v2.1である。

- クロスプラットフォーム

Linux, BSD, OSXで動作する。動作が軽く、Raspberry PiやAndroidスマートフォンでも動作する。すでにINDI Libraryが組み込まれたRaspberry PiベースのStellarMate Plusが販売されている[8]。

- INDIプロトコルによる通信

INDIクライアントとINDIサーバーの間はINDIプロトコルと呼ばれるXMLベースのプロトコルで通信する。INDIプロトコルの仕様は公開されている[9]。同じ種類の機器であれば異なるメーカーや異なる機種であっても基本的なところは共通のプロパティが用意されており、INDIクライアントからは機器の差異をあまり気にすることなく操作できる。例えば、図3は望遠鏡をある赤道座標へ導入するためのINDIプロトコルの通信内容である。

- 対応する機器が豊富

比較的大きなコミュニティで開発が行われていることもあり、望遠鏡架

台、CCD、フィルターホイール、フォーカサー、分光器など、多くの機器をサポートしている。望遠鏡に直接関係しない機器であっても、リモートの天体観測環境を構築するのに必要なドームの開閉装置や気象ステーションにも対応している。表1に対応機器の一部を載せている。対応していない機器であってもINDIドライバーを自作することができる。

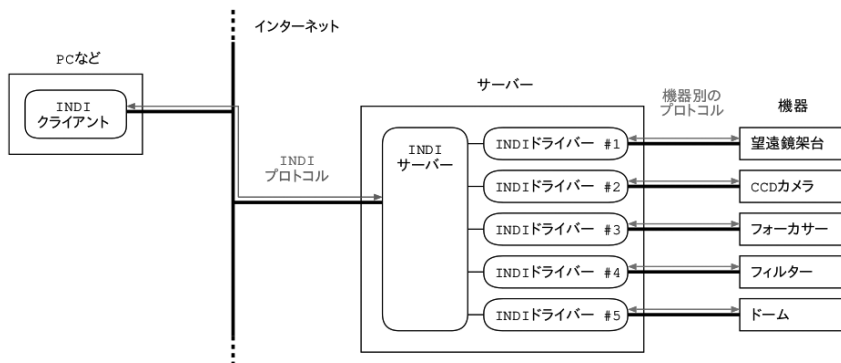


図 2 INDI Library の概念図

```
<setNumberVector device="Telescope Simulator" name="EQUATORIAL_EOD_COORD"
state="Idle" timeout="60" timestamp="2022-10-30T10:06:17">
  <oneNumber name="RA">
22.618500774539505471
  </oneNumber>
  <oneNumber name="DEC">
-14.680000000000005045
  </oneNumber>
</setNumberVector>
```

図 3 INDI プロトコルの例

表 1 INDI Library が対応している主な機器 [6]

機器	メーカー & 機種
望遠鏡架台	Celestron, iOptron, Losmandy Gemini, Meade, Omegon, Orion, SkySafari, SkySensor2000PC, SkyWatcher, Takahashi Temma, Vixen など
カメラ	Apogee CCD, Atik Cameras, Celestron Nightscape 8300, DSLR Cameras, FLI CCD, Lacerta MGEN, Meade DSI Pro, Pentax DSLR, Player One Astronomy Cameras, QHY CCD, QSI CCD, Raspberry Pi Camera, SBIG CCD, Starlight Xpress CCD, SVBony Cameras, Toupcam Cameras, UVC Web Cameras, ZWO ASI Cameras など
フォーカサー	Astroberry Focuser, Astromechanics Canon Lens Controller, Baader Steel Drive, Celestron SCT Focuser, FLI Focuser, JMI MOTOFOCUS, JMI SmartFocus, Lacerta MFOC, Meade LX200GPS Microfocuser, MoonLite Focuser, Rainbow Astro RSF, ZWO ASI EAF など
フィルターホイール	FLI, QHY, QSI, SBIG, Starlight Xpress, Xagyl, ZWO ASI など
気象ステーション	Davis Instruments Vantage Pro/Pro2/Vue, WeeWX Weather Station など
ドーム	DIY Roll-Off Roof (自作ドーム用), Baader Dome, ScopeDome など

### 3 インターネット望遠鏡のシステム

#### 3.1 現行システム

現在のインターネット望遠鏡のシステムは筆者が五藤光学研究所と共同で開発したものであり、図4のような形である。

#### 望遠鏡サーバー

望遠鏡サーバーは望遠鏡とともに現地に設置するサーバーで、OSはWindowsである。望遠鏡サーバーには望遠鏡架台やCCDカメラなどの機器が接続されて

いる。これらをITP望遠鏡制御プログラムで直接制御する。これは接続した機器に応じて開発したプログラムで、コントロールサーバーと独自のITPプロトコル（仕様は非公開）で通信する。CCDカメラより取得した観測画像はJPEG形式やFITS形式で望遠鏡サーバーに保存し、Apache HTTPサーバーでインターネット上に配信している。

## コントロールサーバー

コントロールサーバーは東北公益文科大学に設置してあるサーバーで、OSはLinux (Ubuntu) である。ユーザーがPCやスマートフォンのWebブラウザでアクセスするとJavaScriptで動作する操作インターフェースを提供する。操作インターフェースではユーザーが選択した地点のインターネット望遠鏡の望遠鏡サーバーと通信する。ユーザーからの操作はAjaxでコントロールサーバーに送られ、コントロールプログラムがITPプロトコルに変換して望遠鏡サーバーと通信する。また、一カ所のインターネット望遠鏡を一度に操作できるのは一人のユーザーだけなので、そのユーザー管理もコントロールサーバーで行っている。

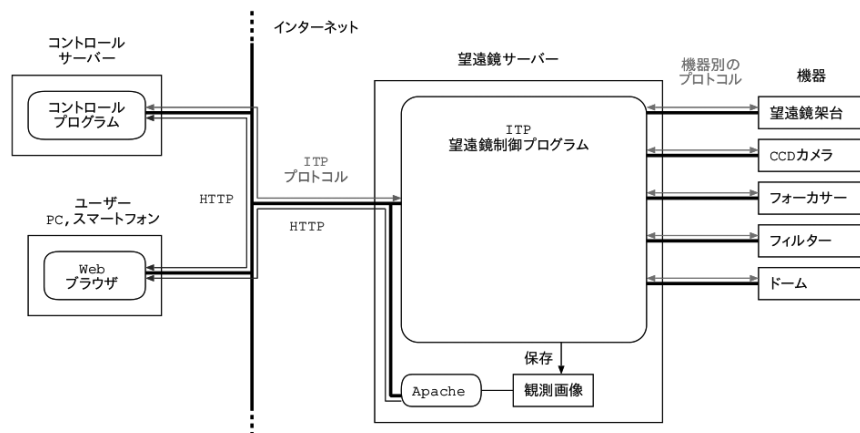


図 4 現在のインターネット望遠鏡のシステム

## 3.2 INDI Libraryを用いたシステム

INDI Libraryを用いて新しく開発するインターネット望遠鏡のシステムは図5のような形を考えている。現行システムから望遠鏡サーバーとコントロールサーバーに変更を加えることになる。

### 望遠鏡サーバーの変更

OSはLinuxに変更し、現行システムのITP望遠鏡制御プログラムの部分をINDI LibraryのINDIサーバーとINDIドライバーに置き換える。さらに筆者は独自のINDIドライバー（ITドライバーと呼ぶ）を作成して加えることにした。

ITドライバーには主にCCDカメラを制御する二つの役割を持たせる。一つは、CCDカメラのINDIドライバーから画像を定期的に取り得して保存する役割である。INDIドライバーから取得できる画像データはFITS形式であるため、JPEG形式に変換して保存する必要がある。もう一つは、冷却CCDカメラの場合にコントロールサーバーからの接続が切れても冷却スイッチが入りっぱなしにならないように監視する役割である。

保存した観測画像を配信する仕組みはそのまま変更しない。

### コントロールサーバーの変更

コントロールサーバーにはINDIクライアントとしての機能を持たせる。INDIサーバーとコントロールサーバーはINDIプロトコルで通信するため、コントロールプログラムをINDIプロトコル対応に作り替える。これにはINDI Libraryの開発用ライブラリを用いる。ユーザーの操作インターフェースは変更しないので、ユーザーにとっては今まで通りの使い方と変わらない。

現行システムと比較してINDI Libraryを用いたシステムには以下の利点がある。

- 望遠鏡サーバーをLinuxで運用することで安定して動作することが期待できる。望遠鏡サーバーはRaspberry Piのような小型のコンピューターでも十分に機能する可能性が高い。リモート運用もしやすくなる。



- INDIサーバーを使えばコントロールサーバーと接続しなくてもINDIクライアントで望遠鏡サーバーに直接接続して望遠鏡を操作できる。例えば、天文台に設置した望遠鏡をインターネット望遠鏡として使いたい場合はコントロールサーバーに接続し、現地だけで使いたい場合はコントロールサーバーとの接続を切ってINDIクライアントで操作するという使い方も考えられる。
- INDI Library に対応した機器が豊富なので、インターネット望遠鏡のハードウェア構成を柔軟にでき、インターネット望遠鏡を設置するためのハードルが下がる。
- INDI Library に対応した機器であればシステムに変更を加えずに機器を切り替えて使うことができる。
- INDI Library に対応していない機器であってもINDIドライバーを自作することができる。その成果はINDI Libraryのコミュニティに還元できる。

ただし、INDI Libraryにも懸念はある。対応している機器は豊富だが、それを制御するINDIドライバーの質に差があるように思われる。INDIドライバーが実用に耐えうるものなのかは実際に使ってみないと分からない。

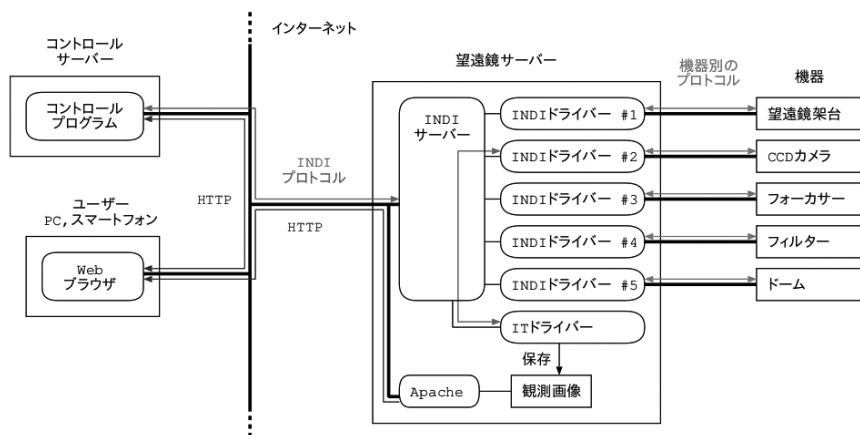


図 5 INDI Library を用いたインターネット望遠鏡のシステム

## 6 まとめ

以上、INDI Libraryを用いた新しいインターネット望遠鏡のシステムについて述べた。INDI Libraryを用いることで現行システムが抱えている機器や安定性の問題をほぼ解決できると考えている。

現在、コントロールプログラムはほぼ完成し、Meade LX-200-20ACFやSkyWatcher AZ-GTiなどで動作テストを行っている。特にAZ-GTiは軽くて扱いやすくWi-Fiで操作できるので便利な機種である。

ニューヨークに設置しているインターネット望遠鏡が老朽化しているため、機器とシステムをリプレイスする予定である。COVID-19の感染拡大があったため計画は大幅に延期を余儀なくされているが、できるだけ早くリプレイスを行いたいと考えている。

今までのインターネット望遠鏡の設置方法は、ドームや小屋の中に大きな望遠鏡と望遠鏡サーバーを設置するという形をとってきた。新たなシステムではRaspberry Piやスマートフォンを望遠鏡サーバーにできるので、ポータブルな小型望遠鏡と組み合わせて手軽に持ち運びできるようなインターネット望遠鏡に仕立てることもできると期待している。

## 謝辞

システム開発にあたってITPのメンバーからは様々なアイデアとご意見をいただきました。心より感謝申し上げます。本研究はJSPS科研費JP18K02986の助成を受けたものである。

## 参考文献

- [1] インターネット望遠鏡プロジェクト, “インターネット望遠鏡プロジェクト”, <https://www.kitp.org/>, (参照 2022-11-01).
- [2] 慶應義塾大学インターネット望遠鏡プロジェクト, “インターネット望遠鏡で観測! 現代天文学入門”, 森北出版 (2016) 160p.
- [3] インターネット望遠鏡プロジェクト, “インターネット望遠鏡課題バンク”, <https://www.kitp.org/kadaibank/>, (参照 2022-11-01).
- [4] 表實, 中西裕之, 山本裕樹, サイエンスネット **74**, 14 (2022).

- [5] 山本裕樹, 東北公益文科大学総合研究論集 **18**, 185 (2010).
- [6] INDI Library, “INDI Library”, <https://indilib.org/>, (参照 2022-11-01).
- [7] ASCOM Initiative, “ASCOM – Standards for Astronomy”, <https://ascom-standards.org/>, (参照 2022-11-15).
- [8] Ikarus Technologies, “Welcome to StellarMate”, <https://www.stellarmate.com/>, (参照 2022-11-15).
- [9] INDI Library, “INDI Protocol”, <https://docs.indilib.org/protocol/>, (参照 2022-11-01).