

# 日本初の 8K LED ドームディスプレイを用いたデジタルプラネタリウム — プラネタリウム技術・業界の現状と将来に向けて —

古瀬 弘康<sup>†</sup>

<sup>†</sup> コニカミノルタプラネタリウム株式会社 代表取締役社長 兼 CEO

〒170-8630 東京都豊島区東池袋三丁目1番3号 ワールドインポートマートビル6階

E-mail: <sup>†</sup>Hiroyasu.Furuse@konicaminolta.com

**あらまし** 2021年10月27日にコニカミノルタプラネタリウム株式会社が、名古屋市のショッピングセンター「イオンモール Nagoya Noritake Garden」内にオープンした日本初の 8K LED ドームを用いたデジタルプラネタリウム施設「満天 NAGOYA」の概要と、プラネタリウム技術/業界の歴史と現在の状況、今後の方向性について報告する。

**キーワード** プラネタリウム, LED ディスプレイ, ドーム映像, 高臨場感, 映像配信

## Overview of 8K LED Dome based digital planetarium “Manten Nagoya” — The future technology of planetarium dome —

Hiroyasu Furuse<sup>†</sup>

<sup>†</sup> President & CEO, Konica Minolta Planetarium Co., Ltd.

3-1-3 Higashi-Ikebukuro, Toshima-ku, Tokyo 170-8630

E-mail: <sup>†</sup>Hiroyasu.Furuse@konicaminolta.com

**Abstract** Reporting about the world first 8K LED based full-digital planetarium theater in Nagoya-city, called “Manten-Nagoya”, produced by Konica Minolta Planetarium Co. Ltd.

**Keyword** Planetarium, LED Display, dome theater, immersive, HDR

### 1. はじめに

近年のプラネタリウムは、デジタル映像技術により従来の光学式プラネタリウムから大幅に進歩し、全天周ドームシアターとしての位置付けも併せ持つ施設となった。特に1990年代後半から、リアルタイムコンピュータグラフィックスの発展と、科学技術データの可視化技術の進歩により、大規模な天文データを可視化してデジタルプラネタリウムとして投影する事が可能となり、ドーム映像の表現の幅が大きく広がった。また近年では、映像合成技術の発展により、プロジェクションマッピングに代表される複数のプロジェクターを使って構成された高精細映像を、ドーム内につなぎ目無く映像を投影するシステムの導入も普及し、プラネタリウムのドーム内に高精細な全天周の映像を映すことも可能となった。これによりプラネタリウムは、従来の天文教育専用の施設から、全天周デジタル映像を映す事が出来る大型映像施設としての位置付けを確立、さらに導入と運用の容易さから普及が進んだ。

高品質・高精細の映像上映が可能になると、プラネタリウムとして設計されたドーム施設では、プロジェクターによるドーム投影の限界も指摘されるようにな

ってきた。ドーム映像の高輝度化を進めるためにプロジェクターの輝度を上げると、ドームシアター特有の「スクリーンの相互反射効果」により、明るくするほど反射光が強くなり、プロジェクション映像が見え辛くなるという矛盾が顕在化してきた。さらに、プラネタリウムでは光学投影式と連動させて映像を重ねるため、プロジェクター映像の高輝度化が難しいという課題もある。プロジェクターの迷光により、ドームが明るくなり、光学式投影機で投影される星が見えづらくなる場合があるのである。これにより、ドームシアターでは、映像の明るさのみならず、輝度不足による色域の再現にも限界があるところが課題となった。

コニカミノルタプラネタリウムが満天 NAGOYA に導入した LED ドームシステム「DYNAVISION-LED」は、自発光ディスプレイデバイスである LED パネル群を、半球状に専用設計しドーム用ディスプレイ装置として開発したことにより、従来のドーム映像の課題を解決すると共に、人間の視野を高品質映像で覆うことが出来る、全く新しいディスプレイ装置となった。

## 2. プラネタリウムの概要

### 2.1. 日本のプラネタリウムの市場

JPA（日本プラネタリウム協議会）が発行したプラネタリウムデータブック（最新版は2015年）によると、日本国内には現在、約350のプラネタリウム館が設置されている。特に1970年代前半の大阪万博、80年代から90年代前半の日本の科学技術振興が盛んだった時期には、毎年10館以上のプラネタリウム館が新設されてきた。2000年代に入ると新規館の設置数は減少し、主にリニューアルや、デジタルプラネタリウム（後述）の追加設置が行われる事が多くなり、現在に至る。

### 2.2. プラネタリウムの歴史

歴史的に最初のプラネタリウムは、オランダ北部のフランクフルトに18世紀に作られた天井オーラリー（惑星儀）であるアイジンガー・プラネタリウムとされている。これは、1774年5月8日に発生した惑星直列（水星、金星、火星、木星、月が明け方の東の空に一度に見えるという天文現象）に対する一般大衆の不安を和らげるために、当時30歳だったアイジンガーが、自宅の居間の天井に設置したものである。彼は、惑星配置が正しい位置に表示できる機械式で動作する太陽系の模型を作り、町の人々を家に招いて説明、不安を和らげるという天文教育を行った。このとき彼は、惑星を見る場所として「プラネット+アリウム」という2つの言葉を合成し、プラネタリウムという言葉を使ったとされている。このアイジンガー・プラネタリウムは、その後200年以上経った今も動き続けている。



## 3. プラネタリウムの仕組み

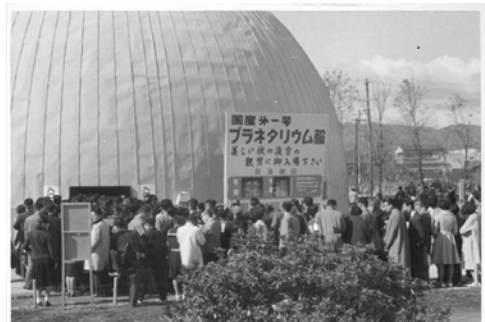
### 3.1. 光学投影式プラネタリウム

いわゆる「プラネタリウム」として一般の方々に馴染みの深い光学投影式プラネタリウムは、1923年にドイツのカールツァイス社が発明した「カールツァイス1型」が最初とされている。天球の中から天体の運動を眺めるために作られたという意味で、これが光学投影式プラネタリウムとしての最初の発明となった。この「カールツァイス1型」は、4500個の恒星と5つの惑星の運行を再現することが出来た。



日本で初めてプラネタリウムが設置されたのは14年後の1937年で、大阪市立電気科学館（現：大阪市立科学館）に設置された。

さらに21年後の1958年、千代田光学精工（株）（現：コニカミノルタプラネタリウム（株））が、初の国産プラネタリウムを完成させ、兵庫県の阪神パークで開催された科学大博覧会に「ノブオカ式プラネタリウムI型」を展示し、公開実演されたのが始まりとなった。



### 3.2. デジタルプラネタリウム

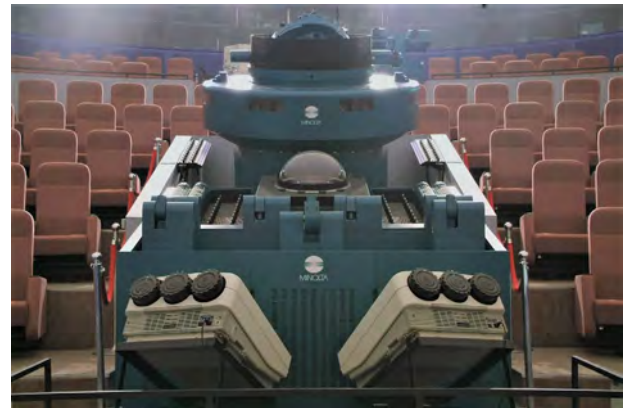
デジタル式のプラネタリウムは、半球状のドーム内にビデオプロジェクターを設置し、タイムラプスで撮影された星空や、CG で作られた天体映像を投影する。最初のデジタル式プラネタリウムは、米 E&S 社が魚眼レンズを用いて白黒のベクトル式描画で表示した「Digistar」が始まりとされている。これは、パイロットの飛行訓練で使われるフライトシミュレーターとして開発された表示技術の一部を、同社が天文教育用に応用したものである。その後 1995 年に、日本の五藤光学により SGI 社のグラフィックスコンピューターと、BARCO 社の 3 管式 CRT プロジェクターを組み合わせた Virtualium が開発・商品化された。リアルタイム CG 技術の発展と共に、各社からデジタル式プラネタリウムが開発・発表されたが、仕組みの複雑さと高額な価格（1 機数億円）により、デジタルの導入は限定的だった。この課題を解決するため、2000 年にコニカミノルタプラネタリウムによって開発された、小規模ドーム用に魚眼レンズを用いて投影する MEDIAGLOBE は、価格の手頃さ、映像の美しさ、オペレーションの容易さから世界中に爆発的に普及（数百台）し、プラネタリウムのデジタル化が一気に進むこととなった。



### 3.3. ハイブリッド型プラネタリウム

デジタル式プラネタリウムの開発と共に、当時課題となっていた「デジタル式の映像の解像度の低さ」を補完するために、光学投影式プラネタリウムで投影される切れの良い星空と、360 度デジタル映像を連動する技術の開発が行われた。1997 年、コニカミノルタ

プラネタリウムにより、コンピューター制御で、光学投影式プラネタリウム機器と、CG 映像を投影する全天周デジタル映像投映システムを融合／連動する技術が開発され、世界初の統合型プラネタリウム「ジュミニスター」が発表された。光学式が映し出す美しい星空と、全天周デジタル映像投映システムが描き出す CG 映像とが相まって、新しいドーム映像の空間が創り出され、現在のプラネタリウム大型館の主流となっている。



## 4. 世界初の 8K LED ドームを用いたフルデジタルプラネタリウム「満天 NAGOYA」について

### 4.1. 満天 NAGOYA の施設について

コニカミノルタプラネタリウムが、名古屋駅至近の「イオンモール Nagoya Noritake Garden」内に 2021 年 10 月 27 日にオープンした「満天 NAGOYA」は、同社の 4 番目の直営館プラネタリウム施設となる。同社のプラネタリウム直営館は、東京都内に「満天（池袋）」、「天空（スカイツリー）」、「プラネタリア TOKYO（有楽町マリオン 9F）」の 3 館が設置され、新型コロナ前の 2019 年には、3 館合計で年間 100 万人のお客様を迎えていた。特に満天（池袋）は、新型コロナ禍の 2020 年にも営業を続け、観覧者数 12.4 万人で日本一のプラネタリウム施設となった。（2020 年、天空は 11.7 万人で 3 位、プラネタリア TOKYO は 9.6 万人で 5 位） 2020 年の日本全国の総プラネタリウム観覧者数は、コロナ前の 2018 年（899 万人）の約 1/3 の 312 万人である事を考慮すると、コニカミノルタ直営 3 館で、日本中の約 1 割のお客様をお迎えしている事となる。（日本のプラネタリウム稼働数は、2020 年で約 350 館。）

コニカミノルタプラネタリウムは、同社初の東京以外の地域への出店として、世界最大級のプラネタリウムである名古屋市科学館（直径 35m のドームを保有、コロナ前の 2019 年まで観客動員数日本一）がある、日本におけるプラネタリウムの聖地とも言える名古屋の地を選び、商業上映館としては世界初の 8K LED ドーム「DYNAVISON-LED」を設置、2021 年 10 月 27 日に「満天 NAGOYA」としてオープンした。



## 5. LED ドーム映像装置「DYNAVISION-LED」概要

### 5.1. DYNAVISION-LED によって解決される課題

DYNAVISION-LED によるプラネタリウムと、従来型のプロジェクターを使用したプラネタリウムとの最大の違いは、言うまでも無く「DYNAVISION-LED は直視型のドーム映像装置」であるという点である。これにより、従来のプロジェクター型ドーム映像装置の課題であった下記の点が解決され、従来のドーム映像とは全く異なる高臨場感映像体験を提供する事が可能となった。

- ① 輝度の課題
- ② コントラストの課題
- ③ 色再現性の課題
- ④ 解像度のばらつき

上記それぞれの詳細と、DYNAVISION-LED によって解決された内容について下記に記す。

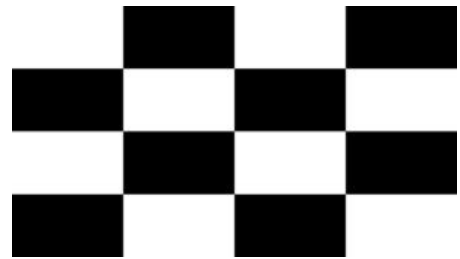
- ① **輝度の課題**： 従来のプロジェクター投影型のドーム映像は、ドーム内の相互反射を防止するために、一定以上まで輝度を上げることが困難となっている。プロジェクターからスクリーンに明るい映像を投射すると、その映像が光源となってドーム内を照らし、映像が見えづらくなるという影響が出るためである。さらにプラネタリウムの場合、光学投影式プラネタリウム機とプロジェクターのデジタル映像を合成させるために、意図的に映像の明るさを抑えているという側面もある。そのため、従来方式では、一般的に「ドーム映像は暗い」と言われる事が多い。ドームスクリーン上の明るさは、プラネタリウム館ごとのポリシーや、ドーム径が異なるため、一概に比較することは難しいが、一般的なプラネタリウム館の映像の明るさは、10 cd/m<sup>2</sup>前後で調整される事が多い。これに対し DYNAVISION-LED は、最大 600 cd/m<sup>2</sup>の輝度性能を持つ。この 600 cd/m<sup>2</sup>の輝度性能を、ドーム系やアプリケーションに合わせて最適な値へ調整する事で、今までに無い高輝度・高コントラスト・広色域の高画質を実現している。



(満天 NAGOYA の映像を GoPro にて撮影)

参考数値ではあるが、DYNAVISION-LED の 600 cd/m<sup>2</sup>という輝度は、高性能なスマホの画面や、明るい室内で使われる LED ビジョン装置 (LED ウォール) の輝度値と同等である。一般的にノート PC やデスクトップ PC 用の LCD モニタが約 200~300cd/m<sup>2</sup>、一般家庭のテレビの輝度が 350~500cd/m<sup>2</sup>とされているので、全天周=全視野を 600cd/m<sup>2</sup>で覆うことが出来る DYNAVISION-LED の突出した明るさが想像出来る事と思う。

- ② **コントラストの課題**： 前述のように、プロジェクターを使用したドーム映像装置は、ドーム内の相互反射による影響が発生する。そのため、ドーム映像は、コントラストに対し極めて厳しい環境となっている。近年の LCOS (反射型液晶) プロジェクターの中には、数万対 1 というカタログコントラスト値を訴求するものもあるが、ドームで実際に上映に使用する場合、実測 100:1 以下まで低下する場合もある。これは、白黒のチェッカーパターンを表示し、白黒部分の輝度差を測定する事により計測出来るコントラスト値である「ANSI コントラスト」にて計測すれば明らかである。プロジェクター型のドーム映像装置は、ドーム表面をスクリーンとして映像を映す必要があるため、ドーム表面を白色 (もしくは薄い灰色) という明色にする必要があることも、コントラスト値に対しては不利に働く。プロジェクターは黒を投影する事が出来ないため、白いスクリーンの暗部が「黒色」として表現されるためである。

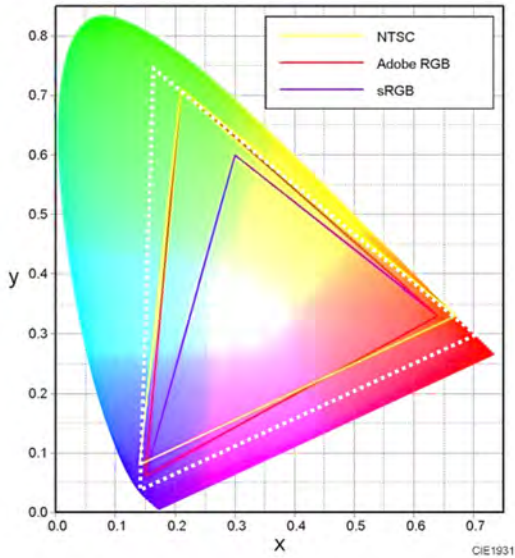


(ANSI コントラスト計測に用いられる白黒柄)

一方、自発光型の LED を用いた DYNAVISION-LED の場合、一般的に FOF0 値と呼ばれるフル・オン、フル・オフ (Full On/Full Off) 型の使用を前提とし、さらにスクリーン上のピーク輝度がプロジェクター型ドーム映像装置の数十倍である事から、一般的なコントラスト値はプロジェクター投影方式とは比較にならない数値が得られる。また、DYNAVISION-LED は、LED パネルの地色も黒に近い色である事も、コントラスト感に有利に働く。

- ③ **色再現性の課題**： SMD 方式の直視型 LED パネルで構成される DYNAVISION-LED の色域は、CIE XY 座標に RGB のプライマリポイントをプロットす

ると、sRGB 色域に対し実に 155%以上の広色域となる。これは Adobe RGB 色域や、NTSC 色域をほぼ包含し、スーパーハービジョンとして知られる BT2020 色域とほぼ同等の広色域を実現する。



(白破線が DYNAVISION-LED がカバーする色域)

色再現性では、輝度も大きな指標となる。いわゆる「きれいな色」を再現するためには、明るいディスプレイデバイスである事が絶対条件となる。これは、一般的に色や映像の再現性が高い HDR(ハイダイナミックレンジ) 対応のディスプレイにおいて、絶対輝度の高さが求められる事からも理解出来る。輝度が不足するディスプレイ映像装置は、一般的に色が濁って見えることから、感覚的にも理解出来るであろう。

光が多い=明るい

光が少ない=暗い



DYNAVISION-LED では、従来のドーム型ディスプレイでは再現が困難だった「エメラルドブルーの海」や、「フェラーリのレッド」、「南国の蝶の鱗粉」、そして「溶けた溶岩の赤」のような、sRGB 色域のプライマリポイントの外にある現実世界の色を再現することが可能となっている。DYNAVISION-LED を初めて導入した「満天 NAGOYA」では、プラネタリウムを主たる映像作品としているが、宇宙においても星雲の表現などで非常にビビッドな色表現が必要になる場合がある。特に近年では、ハッブル宇宙望遠鏡などのように、宇宙

空間で撮影された高解像度の星雲写真をスペクトル分析した画像が NASA や JAXA 等から発表されている。これらを美しく再現するためには、高精細かつ広色域、高コントラストのディスプレイが極めて有効となる。



(満天 NAGOYA の映像を iPhone11 によって撮影)



(従来の映像:シミュレーション)

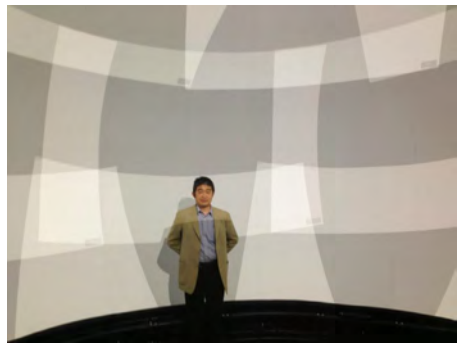
- ④ 解像度の課題: プロジェクター方式のデジタルドーム映像装置の場合、複数台のプロジェクターを用いて端を重ね合わせて大画面を構成する「ブレンディング」という手法を使って全天周映像を構成する事が多い。いわゆる「ドーム内でのプロジェクションマッピング」である。この方式の場合、ディスプレイ装置として下記の課題がある。
- 4-1: マルチプロジェクターのブレンディングによって失われる有効画素数の課題: 一般的なマルチプロジェクターによるブレンディングの場合、約 30%程度の重なり部分を見込んで設計することが多い。さらにドームスクリーンの場合には、3次元の球面形状へ複数のプロジェクター投影によるブレンディングとなるため、平面スクリーンのブレンディングに対し、重なり部分がより多くなる傾向がある。そのため、幾何学的に正確な有効画素数を定義することが非常に難しい。ドーム映像施設でも解像度が議論される事が増えてきたが、厳密に正確な有効画素数を定義するこ



とが困難な場合もあるため、「8K 相当」「4K 相当」と表記される場合が多い。



(小型ドームでのブレンディングの例)



(マルチプロジェクター合成によるオーバーラップ)

#### 4-2: スクリーンとプロジェクターが正対出来ない事によるピクセルシェイプの課題:

ドームスクリーンのように、局面スクリーンに斜めからプロジェクターで映像を投影する場合には、スクリーン上の一つ一つの画素は、必ずしも正確な正方形とはならない場合が多い。また、複数のプロジェクターを使う際には、画素の有効領域を最大化してレイアウトするため、必ずしもドームスクリーン上の水平垂直と、プロジェクターの画素レイアウトが一致するとは限らない。これにより、ドームスクリーン表面では、プロジェクターの画素の形、画素密度を幾何学的に厳密に一定化する事は極めて困難となる。これは、画の解像度と、輝度の均一性、色の均一性、コントラストの均一性に大きな影響を及ぼす事がある。近年では、高性能な映像生成装置 (IG: イメージジェネレーターと呼ばれるグラフィックス PC) により、リアルタイムに映像変形を伴う画像処理を行うことで、変形をリアルタイムに補正して上映する技術が確立され、実用化が進んでいる。しかし、リアルタイムの映像変形などの画像処理を行うため、高性能な処理装置が必要となる場合が多い。

#### 4-3: スクリーンとプロジェクターレンズとの距離のばらつきによる、輝度均一性の課題:

スクリーン上の映像の輝度は、物理法則としてスクリーンとプロジェクターレンズからの距離の二乗に反比例する。施設への設置の制約上、プロジェ

クターとスクリーンが正対出来ない設置制限が発生する事があるドームスクリーンの場合、スクリーン輝度の均一性 (輝度ユニフォームリティ) に課題が出る事は、構造上避けることが難しかった。この場合、暗い部分を明るくすることは出来ないため、明るい部分を物理的・電気信号的に暗くするという処理を行う。これは、ドームスクリーン全体の輝度の低下と、コントラストの低下をもたらす一因となってきた。そのため、アプリケーションによっては、小型のドームに対しても、超高輝度の大型プロジェクターを使う等の手法がとられることもある。



(小型ドームで 20Klm プロジェクターを使用した例)

DYNAVISON-LED では、ドームシアターのディスプレイ装置として SMD (表面実装) 型の直視型 LED パネルを使う構造を採用する事により、これらの「①輝度」、「②コントラスト」、「③色再現性」、「④解像度の喪失」といった、今までのプロジェクターを使ったドーム映像装置が持つ課題に対し、根本的とも言える解決策をもたらした。DYNAVISON-LED が画期的なドームディスプレイ・ソリューションと言われる所以である。

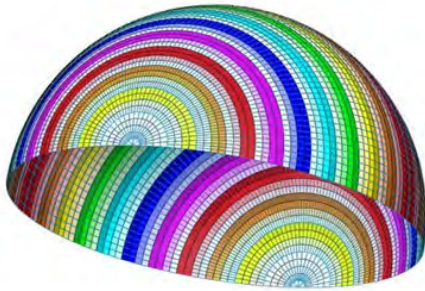
## 5.2. DYNAVISON-LED の仕様

下記に、コニカミノルタプラネタリウムによって商用化された LED ドームシステムである「DYNAVISON-LED」の仕様の一部を記す。なお DYNAVISON-LED は、用途と目的に応じて、サイズ・解像度等の自在な設計が可能となっているため、後述の数値は「満天 NAGOYA の仕様」を元としている。詳しくは、お問い合わせ願いたい。

### 【満天 NAGOYA を元とした DYNAVISON-LED の仕様】

|            |                                    |
|------------|------------------------------------|
| 輝度:        | 最大 600cs/m <sup>2</sup> (用途によって調整) |
| 直径:        | 直径 20m 以上 (満天 NAGOYA は 15m)        |
| 解像度:       | 11K まで実績有 (満天 NAGOYA は 8K)         |
| 画素ピッチ:     | 1.9mm ~ (満天 NAGOYA は 2.7mm)        |
| 色域:        | sRGB 比 155% 以上                     |
| 入力信号:      | 10bit 対応 HDMI 入力                   |
| LED パネル形状: | 球面の一部を切り出した 3次元曲面                  |

LED パネル枚数：ドーム直径／解像度仕様で異なる  
 LED パネル配置：満天 NAGOYA では東西極配置を採用  
 →商用プラネタリウムでは世界初

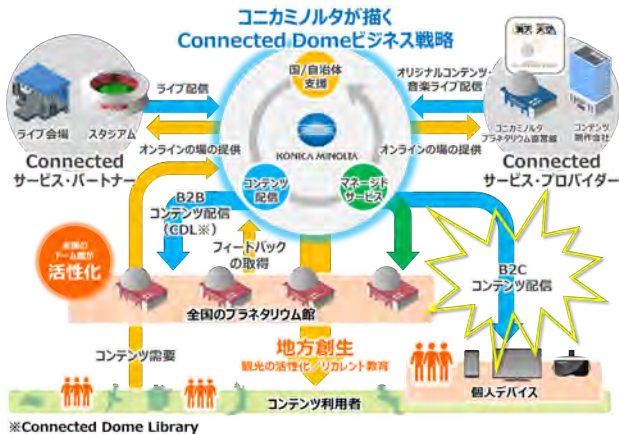


信号源： MediaGlobe-Σ SE (満天 NAGOYA)  
 →大規模クラスタ化して使用  
 音響特性： サウンドスクリーン型  
 →音響透過型 LED パネル  
 →満天 NAGOYA は 5.1.2ch を設置  
 制御装置： LED コントローラー

## 6. これからのプラネタリウムの方向性

### 6.1. プラネタリウム DX と Connected Dome

DYNAVISON-LED による LED ドーム型プラネタリウムは、コニカミノルタプラネタリウムが提案する「プラネタリウム DX」の一つとして進められている。これは、従来はネットに繋がっていなかった各地のプラネタリウムをネットに接続し、高臨場感コンテンツの流通をによって、日本全国に 350 あるプラネタリウムドームを有効活用し、人が集まる場とするという提案である。近年、VR 技術や機器の進歩により、高臨場感映像の製作が容易になった。この高臨場感映像を用いて、従来は天体教育に特化していたプラネタリウム施設が、地域活性の拠点に出来れば、施設の有効活用にも繋がる。



実際にこの考えにご賛同頂いた自治体も増えつつあり、プラネタリウム等で上映する高臨場感映像においても、ネットを活用した流通が始まりつつある。

さらにコニカミノルタでは、パートナー企業と協力して、プラネタリウムドームに向けた高臨場感ライブ中継等の実証実験も進めている。この試みが拡大すれば、地域のプラネタリウムが天文教育だけではなく、音楽やスポーツのライブ配信、e スポーツ等のエンターテインメント、さらには双方向性を活かしたリカレント教育等への活用も可能となる。



### 6.2. 集団鑑賞型の高臨場感映像装置の可能性

実際にコニカミノルタプラネタリウムでは、この Connected Dome Solution の技術を提供することで、2021 年夏に開催された東京オリンピック「TOKYO2020」において、プラネタリウム館への高臨場感映像配信のサポートも行った。オリンピック組織委員会が主催した「臨場感 LIVE ビューイング」実証試験では、全国 8 カ所のプラネタリウムにおいて 360 度映像のライブ配信を含む全天周映像の配信・上映を行ったが、コニカミノルタプラネタリウムでは、このうち 6 カ所の技術サポートを実施した。

高臨場感映像体験では、VR-HMD (ヘッドマウントディスプレイ) を使った手法も有効だが、DYNAVISON-LED を使ったドーム型映像装置では、「集団での高臨場感映像体験が出来る」ところが HMD と決定的に異なる。興味を持たれた方は、ぜひ一度、現地でこの臨場感を「体験」して頂きたい。なお、2022 年の春には、プラネタリア YOKOHAMA として、コニカミノルタプラネタリウムの DYNAVISON-LED 施設の 2 号館がオープンする予定となっている。合わせて足を運んで頂ければ幸いである。

## 文 献

- [1] 国立科学博物館技術の系統化調査報告 Vol.29 2020. March. 4. 1 プラネタリウム技術の系統化調査 児玉光義
- [2] JPA：日本プラネタリウム協議会 プラネタリウムデータブック 2015
- [3] JPA：日本プラネタリウム協議会 プラネタリウム基礎調査 2020 年、2021 年速報
- [4] 名古屋市科学館 ホームページ 展示ガイド「アイジンジャー・プラネタリウム」
- [5] コニカミノルタプラネタリウム ホームページ内 「プラネタリウムの歴史」