S-1:　3D立体視
Stereoscopic Vision

Section1:
3D立体視
Stereoscopic Vision

2026. 10. 21版　第2稿途中

理解の流れ

序説　立体映像の歴史的背景

第1章　視覚の仕組み（奥行きの知覚）　→　2つの視差　→　立体空間

　　奥行き、距離、輻輳、フォーカス、など

　　立体空間の設計　　

第2章　3D撮影の設計　3Dリグ　3Dカメラ

第3章　ポスプロ、編集、合成、CG、VFX　デプス・バジェット、デプスマッチング

マスタリング

第4章　立体ディスプレー、視聴環境　映画館、LED、テレビ、モニター、ドーム、HMD

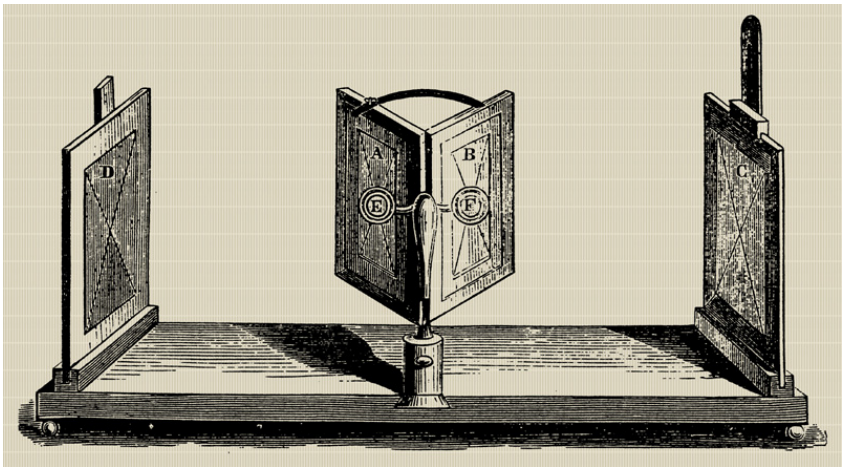
□□□□
Overview

□□□

□□□

Stereoscopic Vision

3D□□□



1850□□□

□□□

◉本邦寫眞家列傳 栗

明治時代の詩人、評論家である萩原朔太郎(1886 — 1942)は「僕の寫眞機(アサヒカメラ 1939年10月号)」という随筆の中で次のような文章を寄せています。

「寫眞といふものに、一時熱中したことがあつた。しかし僕の寫眞機は、普通のカメラと大いに變わつたものであつた。普通の寫眞機は、レンズが一つしかないのであるが、僕のはレンズが二つあつて、それが左右同時に開閉し、一枚の細長い乾板に、二つの同じやうな繪が寫るのである。これを陽畫にしてから、特殊のノゾキ眼鏡に入れてみると左右二つの繪が一緒に重なり、立體的に浮き上つて見えるのである。と言へば、すぐ讀者にも解るであらうが、つまり僕の愛玩した寫眞機は、日本で俗に双眼寫眞と呼んでる、悌蘭西製のステレオスコープなのであつた。□ー中略ー□そしてかかる僕の郷愁を寫すためには、ステレオの立瞳寫眞にまさるものがないのである。なぜならステレオ寫眞そのものが、本来パノラマの小模型で、あの特殊なパノラマ的情愁ーパノラマといふものは、不思議に郷愁的の侘びしい感じがするものであるーを本質してゐるからである。」

萩原朔太郎が開通工事中の品鶴線上で撮影したステレオ写真（萩原朔太郎記念・水と緑と詩のまち前橋文学館 所蔵）

この随筆から、彼が3D立体写真に傾倒していることが分かります。特に立体の持つ「パノラマ的情愁」が特別なものだとしています。ただ単に写真が与えてくれる感覚とは別の情緒的な感覚がそこにはあったのだと記しています。

3D映画はどこから来たのか?

1895年、リュミエール兄弟とエジソンによって映画が発明されます。立体映画も同時期に試作が始まっています。その後、1920年代に初めての立体映画が制作されていきます。私たちが今日、3D映画を鑑賞したりVR/MRヘッドセットで仮想空間に没入したりできるのは、200年近くにわたり積み重ねられてきた写真の発明から脈々と続く立体視テクノロジーの進化の歴史があるからです。 [1, 2]

3D立体視（Stereoscopic Vision）は、ブームと衰退を何度も繰り返しながら、その都度、光学・電子工学・AIといった時代ごとの最先端技術と融合して蘇ってきました。その誕生から現在にいたる歴史的軌跡を俯瞰します。 [1, 2]

映画の誕生と「第1次・第2次　3D映画ブーム」（20世紀前半〜1980年代）

やがて映像が「動き（映画）」始めた20世紀、クリエイターたちはすぐさま映像に「奥行き（3D）」を与えようと挑戦を始めました。 [1, 2]

- **1910□1920□□□□□□□□□□□□**
  □□□□□□□□□3D□□□1910□□□□□□□□□□□□□□□□
  □□□□□□□□□□□□□2□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□
  □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□**Anaglyph**□□□□
  □□□□□□ [1]
- **1950□□□□□□□□□□□□1□3D□□□□□□**
  □□□□□□□3D□□□□□□1950□□□□□□□□□□□□□□□
  □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□
  □□□□□□□□□3D□□□□□□□□□
  1952□□□□□□□□□□□□*Bwana Devil*□□□□□□
  □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□
  □House of Wax□□□□□□ / 1953□□□□□□□□
  □□□□□□□□□□□□□□□*Dial M for Murder*□□
  □□□M□□□□/ 1954□□□□□□□□3D□□□□□□□□□□□
  □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□2□
  □35mm□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□
  □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□
  □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□
  □□□□□□□□□□□□□□□□□□□ [1, 2, 3]
- **1980□□□□□2□3D□□□□□□□□□□□□□□□□□**
  1980□□□□□□□1□□□□□□□□□□□□□□□□□L/R□□
  □□□□□□□□□□1□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□
  □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□
  □Friday the 13th Part III□13□□□□□
  PART3 / 1982□□□□Jaws 3-D□□□□□3-D /
  1983□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

ンドの『Captain EO（キャプテンEO / 1986）』に代表される「テーマパークのアトラクション（**LBE**）」として**3D**映像が定着したのがこの時代です。 [1]

③ デジタルシネマの到来と『アバター』による頂点（2000年代~2010年代）

3D立体映像の歴史における最大の転換期は、映画館の上映設備がフィルムからデジタルへと移行した「デジタルシネマ（**DCP**）」の到来です。 [1, 2]

2000年代後半：デジタルによる「アライメント・エラー」の克服
1999年の『スター・ウォーズ エピソード1』を機に、DLP Cinemaプロジェクターによるデジタル上映へのインフラ移行が世界中で始まります。ジョージ・ルーカスが推し進めようとした全世界デジタルシネマ化の野望がそこにはあります。
デジタルプロジェクターは、1秒間にL/Rの映像を144回（片目毎秒72回）といった超高速で交互に出力（フレームシーケンシャル）できるため、かつてのフィルム上映時代にあった「左右の映像の同期ズレ（時間エラー）」が理論上完全にゼロになりました。 [1, 2]

2009年：『アバター』という絶対的臨界点
2010年は「**3D**元年」と呼ばれ、また「第**3**次**3D**立体ブーム」とも期待されましたが、その起爆剤となったのが2009年末に公開されたジェームズ・キャメロン監督の『**Avatar**（アバター）』です。
キャメロン監督は、それまでの安易な「飛び出しギミック（負のパララックス多用）」を徹底的に排除し、人間の生体工学（VACの軽減）に配慮した「スクリーンの奥に完璧な生態系が広がっているかのような自然な奥行き（正のパララックス主軸）」を自ら開発した新型3Dカメラリグ（Fusion Camera System）で実現しました。
この作品の世界的大ヒットにより、世界中の映画館が競うように RealD や

XPAND　といったデジタル3Dシステムを導入し、映画界の歴史の中で最も巨大な3D全盛期を築き上げました。しかし、その後に続いた粗悪な3D映画の乱発により、観客の疲労や飽きを招き、映画館における3Dブームは再び収束を迎えることになります。[1, 2, 3]

何度目かの3D映画ブームを超えて

2004年、「ポーラーエクスプレス」ロバート・ゼメキス監督□初のパフォーマンスキャプチャーを用いたIMAX版が公開されました。通常の6倍ともいわれた面積比のIMAX版は北米で2D版の３倍の興行成績を挙げ、3D映画の可能性を示唆しました。

2005年、「チキンリトル」マーク・ティンダル監督のディズニー初の3D長編映画は日本でもデジタルシネマの普及とともに3D対応のシアター普及を牽引しました。

2005年、Show West in Las VegasにおいてDLP社□ダグ・ダロウ、ジョージ・ルーカス（「スターウォーズ」シリーズ）、ロバート・ゼメキス（「ポーラエクスプレス」「クリスマスキャロル」）、ランダル・クレイザー（「グリース」）、ロバート・ロドリゲス（「スパイキッズ」シリーズ）、ジェームズ・キャメロン（「アバター」）らが同席し、今後の映画における3D映画製作を高らかに宣言しました。この背景にはテレビ産業の拡大と映画産業に陰りが見え始めた時期と重なります。

2007年、「**U23D**」ライブコンサートNational Geographics/3ALITY DIGITALが製作したIMAX3D立体映画。7台(14台)の3Dカメラ3ALITYリグシステムによるライブコンサートのドキュメンタリー。いまだにDVD・BD化されていない幻の3D映像です。

映画「アバター」（2009）大ヒットと「3Dテレビ元年（2010年）」

2009年、映画「アバター」は世界的に大ヒットしました。それまでの3D映画とは違い、飛び出しを意識するというよりも奥行きと広がりを感じさせる新しい形の3Dコンテンツの登場でした。

2010年は、大手家電メーカーによる3D対応テレビの相次ぐ発売により、「**3D**テレビ元年」と呼ばれました。当時、日本はちょうどテレビの地上デジタル放送への完全移行（2011年）を控えており、液晶・プラズマテレビへの買い替え需要が急増していました。テレビメーカーは買い替えの目的のひとつに３Dテレビ対応を掲げました。また放送も３D放送番組への取り組みが見られ、BS１１は週末の時間サイドバイサイドでの放送を行いました。海外でもBBCなどが３D放送を行った時期でした。

□□□

エクスペリエンス3D□体験・体感するということの迫力!

３D映画や３Dテレビは一時的なブームで終焉を迎えたかもしれませんが、３D立体視の技術は至る所に脈々と、静かに続いています。VRで視聴する世界はデフォルトで３D立体の世界を見ています。イマーシブビデオや空間コンピューティングの世界も同様です。そして、イマーシブなコンテンツとして体験、体感型のアトラクションも増えてきています。それらの事例をいくつかピックアップします。

『Terminator 2 T2:3D』（USF１９９６～、USH1999～、USJ2001～2020）

ユニバーサルスタジオフロリダで始まったこのステージショーは観客のいる前で実際の演者たちが登場し物語が進行します。途中から舞台は瞬時に3D立体の映像に置き換わり、強烈な飛び出しの驚愕体験をすることになります。これは明らかに今までの映像を視聴鑑賞する体験ではなく、生身の演者がいるステージそのものが3D空間に変貌するはじめてのイマーシブ空間体験でした。その後、ユニバーサルスタジオハリウッド、ジャパンと展開していきます。約12分。映像製作費2400万ドル。総工費6000万ドル





『The Amazing Adventures of Spider-Man』(USF1999～、USJ2004～2024)

ユニバーサルスタジオのライド型アトラクション。



『**Kingkong360|3D**』（**USH2010**～、**USF2016**～）

ユニバーサルスタジオハリウッド/フロリダのみ

60fps x 16台 x 3D□トラムツアー型3D体感アトラクション

VFXはWETA DIGITAL

ハリウッドは2026年3月に3Dメガネを着用しない2D版に変更されている。

フロリダは2016年より、進化版アトラクション「Skull Island: Reign of Kong」3D版を上演、2024年～2D版へ変更。

「アバター」シリーズにおける3D立体の技術革新

水中撮影、モーションキャプチャー技術

ディスプレイ型：アイトラッキング（視線追従）による裸眼3Dの完成

Apple Vision Proなどの登場により、3D映像は「映画を観る」ものから「体験や記憶を追体験する」ものへ拡大しています。

Looking Glass ライトフィールド

序説としてのまとめ

3D立体視の歴史は、「テクノロジーが人間の生体工学（目の心地よさ）を追い越した時にブームが起き、表現の乱用や技術の妥協によって人間の脳の限界（VACやエラー）を無視した時に必ず衰退する」という明確なサイクルを描いています。

これから解説する幾何学設計やクオリティ管理（QA）のルールは、過去の歴史の中で先人たちが繰り返してきた失敗から得られた、尊い知恵の結晶です。歴史を鏡とし、人間にとって心地よいイマーシブコンテンツを構築するためのガイドラインを示していきます。

3D立体視の歴史的変遷マップ

時代	主な方式	技術的ブレイクスルー	衰退の原因／課題
19世紀後半	ステレオカード（静止画）	ステレオスコープ、ステレオカメラの普及	動画への対応が不可能（写真の限界）
1950年代	フィルム式偏光（一部アナグリフ）	2台のフィルムプロジェクターの物理同期	左右の同期ズレ（時間・垂直エラー）による激しい目の痛み
1980年代	フィルム式偏光	1台のフィルムプロジェクター	B級、低予算低クオリティで飽きられる
2010年代	デジタルシネマ3D（偏光/アクティブ）	デジタルシネマ（DCP）フレームシーケンシャル	粗悪な2D-3D変換映画の乱発による観客の疲労と飽き

現在	空間コンピューティング 3D LED	MV-HEVC ライトフィールドボリュメトリックビデオ	高度な3Dアセット生成コスト、GPUレンダリング負荷

第1章 立体視の原則
Principles of Stereoscopic Vision

私たちが日常空間の「奥行き」を感じる時、脳はさまざまな視覚情報を統合しています。3D立体映像を破綻なく制作・開発するためには、人間の眼がどのように立体を捉えているか、その生体メカニズムを正しく理解する必要があります。

1-1: 人間の眼の仕組みと奥行き知覚（輻輳と調節の連動）

立体視の仕組みは人間の知覚と大きく関係します。人間の眼が2つあり、その視差情報から奥行きを体験的に学習して距離感や大きさを判断しています。3D立体映像はその視差の原理を利用して立体視を作り出しています。そのために立体視はいくつかの制約の条件下でしか成立しないという結果となります。このことが立体視を難しくさせる原因でもあります。

遠近・奥行きの要因 ⇨ もう少し整理!

立体における奥行きや遠近を感じる要因には次のような要素があります。

- 重畳遠近法（オクルージョン）隠蔽遮断
    - 物が重なり合った時に奥にあると認識する

- 上下遠近法
- 大小遠近
- 空気遠近
    - 遠くのものが霞んで見える現象

- 密度勾配
- 運動視差（自身や背景が動いたときのズレ
- シェーディング（陰影
- 進行色・後退色
- 相対サイズ（周囲との比較で大きさを判断し、大きさから奥行きを想像する
- 輝度差・コントラスト差

2つの「視差」の定義と使い分け

空間的視差（**Parallax**）と画像的視差（**Disparity**）

立体視は人間の肉眼がどのように視覚や視界を捉えているのかというシミュレーションに他なりません。ですから、まずは人間が左右2つの眼球で世の中を見ているところからスタートします。この左右２つの両眼で見ている時の左右の距離を両眼視差**(Binocular Parallax)**と呼び、成人だとだいたい

65ミリメートル（**mm**）**=2.5**インチ（**inch**）

とされています。

□□□

輻輳角（Toe-in Convergence）

まとめ

- Stack Overflow**What is the difference between parallax and disparity**Parallax is the distance between the left and right correspo…
- 天文学辞典視差 ー 天文学辞典説 明 異なる二つの地点から見た天体の位置（方向）の差。
  二つの地点が地球中心と地表の観測地の場合は地心視差あるいは地平…
- 愛知学院大学両眼視差とは両眼視差とは、両目の網膜に映る像の、位置の違い（差）のことです。 網膜とは、目の後ろ側にあるスクリーンの役目をする部分の…

現場での使い分けの要約

- 撮影・プランニング時（実空間）での実例「カメラの間隔（Parallax）を広げて奥行き感を強調する」
- ポストプロダクション・**CG**（画像データ）での実例「このオブジェクトの左右画像のズレ（Disparity）は**15**ピクセル以内にする」

[1]

- James Cook University**A Beginner’s Guide to Shooting Stereoscopic 3D**2011/09/10 — Ortho-stereo, Hyper-stereo & Hypo-stereo I already mentioned…
- Stack Overflow**What is the difference between parallax and disparity**2016/01/20 — Parallax is the distance between the left and right correspo…
- anchor.immcon-society.net**3D**立体映像**Stereoscopic — Anchor**3D立体映像Stereoscopic ・ 3D立体映像の歴史 ・ 3D立体映像の仕組み ・ 3D映像の撮影 ・ 3D映…

調節と輻輳の連動

人間が物体を立体として認識する最も強力な手がかりが、「調節（**Focus / Accommodation**）」と「輻輳（**Convergence**）」という2つの眼球運動とその連動です。

① 調節（Focus / Accommodation）

- 現象：　物体にピントを合わせる機能。
- 仕組み：　対象の距離に応じて、眼球内の「水晶体」の厚みを毛様体筋が変化させ、網膜上にハッキリとした像を結びます。
- 特徴：　単眼（片目）でも機能する奥行きの手がかりです。

② 輻輳（Convergence）

- 現象：　物体を見る際、左右の眼球を内側に向ける（寄り目にする）機能。
- 仕組み：　対象が近づくほど眼球は大きく内側へ回転し、遠ざかるほど平行に近づきます。脳はこの「左右の眼の角度（内直筋の緊張度）」を感知して、物体までの距離を測定します。
- 特徴：　両眼（両目）が揃うことで初めて機能する、立体視の根幹です。

現実世界での完璧な「連動」

現実の空間では、「ピントが合う位置（調節）」と「視線が交わる位置（輻輳）」は常に一致しています。手前のリンゴを見る時は、リンゴの距離にピントが合い、同時に両眼の視線もリンゴの位置で交わります。脳はこの2つの動作が1:1でシンクロすることで、違和感なく正確な奥行きを感知しています。

3D立体映像における脳の混乱：輻輳・調節矛盾（「**VAC**」）

しかし、従来の3D映画やVRヘッドセットといった「3D立体映像」の世界では、この連動が強制的に引き裂かれます。これを「輻輳・調節矛盾　**VAC**（**Vergence-Accommodation Conflict**）」と呼び、「3D酔い」や「眼精疲労」の原因となっています。

www.themoonlight.io

[論文レビュー] Evaluating the Vergence-Accommodation Conflict in Gaze-Based 3D Target Selection

https://www.themoonlight.io/ja/review/evaluating-the-vergence-accommodation-conflict-in-gaze-based-3d-target-selection

本論文は、ヘッドマウントディスプレイ（HMD）における「輻輳調節矛盾（Vergence–Accommodation Conflict: VAC）」が、視線ベースの3Dターゲット選択タスクのパフォーマンスに及ぼす影響を調査した研究である。### 研究の背景と目的現在のXR用HMDの多くは、固定された焦点面（focal plane）に映像を表示する一方で、両眼視差によって仮想オブジェクトの奥行きをシミュレートしている。これにより、自然な視覚環境では一致している「輻輳（眼球の回転）」と「調節（水晶体のピント合わせ）」が乖離し、VACが発生する。既存研究では、こ...

なぜ脳が混乱（矛盾）するのか?

3D映像を視聴するとき、人間の眼球は以下のような完全に矛盾した動きを強いられます。

- 調節（ピント）は「スクリーン表面」で固定

  光は常にディスプレイや映画のスクリーンから発せられているため、眼の筋

肉はスクリーンの距離（例えば2m先）にピントを合わせ続けます。

- 輻輳（寄り目）は「映像の**3D**位置」へ誘導
  左右の映像にズレ（視差）が与えられているため、映像が手前に飛び出して見える時、両眼の視線はスクリーンの手前（例えば50cm先）で交わります。

このように、「眼のレンズは**2m**先を捉えているのに、眼球の向きは**50cm**手前を向いている」という、現実世界ではあり得ない神経信号が脳に送られます。脳はこの矛盾を処理しようと過剰に疲弊し、結果として激しい目の痛みや、吐き気を伴う「3D映像酔い」を引き起こします。

クリエイター・開発者が知るべき対策

このVACによる視聴ストレスを最小限に抑えることが、優れた3Dコンテンツ制作の絶対条件です。ハンドブック後半で詳述する以下の設計思想は、すべてこの第1章の理論に基づいています。

1. デプスバジェット（**Depth Budget**）の制限
   映像を極端に飛び出させたり、奥に引っ込めたりしない。スクリーンの前後「2度以内」の画角に視差を収めるのが、人間の眼に優しい設計（**1/30**ルールの根拠）※です。
2. 急激な奥行き変化の回避
   手前に飛び出している物体から、次のカットで急に奥の背景へ視線を移動させるような編集（デプスカット）を避ける。脳のピント・寄り目のリフォーカスが追いつきません。
3. 空間コンピューティング（次世代**HMD**）でのアプローチ

□□□XR□□□

② Parallax（幾何学的・物理空間の視差）「スクリーン視差」

- 定義： 異なる2つの視点（左目と右目、あるいは2台のカメラ）から対象を見たときの、「見え方の方向の差」、またはスクリーンに投影した際の「左右映像の物理的な距離のズレ」。
- 空間の基準： 実空間（または3D CG内の仮想空間）、および上映される「物理スクリーン面」。
- 単位： ミリメートル（mm）、センチメートル（cm）、または角度（度・arcmin）。

制作における意味と役割

Parallaxは、「人間の目が実際にどれだけ動くか」という生体的な影響に直結します。
例えば、左右の映像のズレが映画館のスクリーン上で「65mm」発生している場合、その物理的な長さそのものがParallaxです。後述する「**1/30**ルール」の計算や、観客が目を外側に開く異常状態（開散）を防ぐための安全基準は、すべてこの物理的なParallaxをベースに設計されます。

③ Disparity（デジタル・画像空間の視差）「両眼視差」

- 定義： デジタル処理される「左目用画像（L）」と「右目用画像（R）」を重ね合わせたときの、「画素（ピクセル）単位における位置のズレ量」。
- 空間の基準： 2次元のデジタル画像データ上。
- 単位： ピクセル（pixels）、または画面全幅に対する割合（%）。

制作における意味と役割

Disparityは、「コンピュータやソフトウェアが認識する単位・数値」です。VFXのコンポジット（合成）、2D-3D変換、ステレオマッチングアルゴリズム（左右の画像から共通の被写体を自動検出する技術）では、すべての計算がピクセル単位で行われます。左右の画像でリンゴのピクセル位置が「横に20ピクセルズレている」とき、その「20px」という値がDisparityです。

ソフトウェアはこれを利用して、画面全体の奥行き情報を可視化した「**Disparity Map**（ディスパリティマップ　**/**　視差マップ）」を生成し、後から立体感を微調整する高度なポストプロダクション処理を行います。

両者の決定的な違いと「罠」

クリエイターや開発者が最も注意すべきは、「**Disparity**（ピクセル数）が同じでも、視聴環境（スクリーンサイズ・視聴距離）によって**Parallax**（物理的なズレ）は激変する」という事実です。

スマートフォンで視聴する場合**:**
左右のズレ（Disparity）が「100ピクセル」あっても、画面が小さいため物理的なズレ（Parallax）は数ミリに収まり、人間の目は快適に立体を融合できます。

【重要!】**3D**立体映像における「視差」の二大定義**Parallax**　と**Disparity**

3D立体映像（Stereoscopic 3D）を正しく理解し、撮影やポストプロダクション、CG制作を行うためには、日本語で同じ「視差」と訳されがちな

Parallax（パララックス）と **Disparity**（ディスパリティ）の違いを明確に区別する必要があります。

1. **Parallax**（物理的・空間的な視差）

- 定義：　異なる2つの視点（左目と右目、あるいはL/Rの2台のカメラ）から、実空間（または3D CG空間）の対象物を見たときの、物理的な見え方の方向の差や、（スクリーン上での）物理的な距離のズレ。
- 単位：　ミリメートル（mm）、インチ（inch）など、物理的な長さの単位。 [1]
- 制作における意味：
    - カメラリグの左右のレンズ間隔（インカメラーベース / 基線長）によって決定されます。
    - 映像が映画館の巨大スクリーンやVRヘッドセットに投影された際、観客の目が実際にどれだけ輻輳（寄り目）または開散（離れ目）するかという「実空間での物理的なズレ量」を議論する際に用います。 [1]

2. **Disparity**（画像上・ピクセル単位の視差）

- 定義：　撮影・レンダリングされた「左目用画像」と「右目用画像」を重ね合わせたときの、画像や映像（デジタルデータ）上における対象ピクセルの2次元的な位置のズレ（差数）。 [1]
- 単位：　解像度ピクセル（pixels）、または画像(映像)幅に対する

割合（%）。

- 制作における意味：
  - コンピューター画面、ＶＦＸのコンポジット（合成）、2D-3D変換、ステレオマッチングの際に使われます。
  - ソフトウェア内で視差を解析・制御する際、L/Rの画像から生成される「**Disparity Map**（ディスパリティマップ / 視差マップ）」として扱われ、後から奥行きを調整する際の基準データとなります。 [1, 2]

正しい定義の対比

単語	指し示す対象	単位の例	**3D**制作での意味
Parallax （パララックス / 視差）	スクリーン（画面）面での左右の画像のズレの距離	mm、ピクセル、%	ディスプレイ上の物理的なダブり量。3Dメガネを外したときに見える、画像同士の物理的な距離です

Disparity（ディスパリティ / 両眼視差）	人間側（網膜や視覚角）での左右の像のズレ、視線の角度差	度（degree）、分（arcmin）	左右の瞳の奥（網膜）に映る像のズレ。脳が奥行きを感知するための「生体側のデータ」です

映画館の巨大スクリーンで視聴する場合：

同じ「100ピクセル」のズレのままプロジェクターで拡大投影すると、物理的なズレ（Parallax）は数十センチに達します。これは人間の両眼の間隔（約65mm）を遥かに超えるため、誰も立体として融合できず、映像が完全に破綻（ステレオ崩壊）します。

項目	**Parallax**（パララックス）	**Disparity**（ディスパリティ）
主な対象空間	現実空間 / 上映スクリーン	デジタル画像データ（2D平面）
主な単位	mm / cm / 角度（degree）	ピクセル（px） / パーセント（%）
主に関わる職種	撮影技師、ディレクター、シアター設計者	VFXアーティスト、開発者、プログラマー
環境依存性	画面サイズが変わっても「角度」の不快感は一定	画面サイズによって物理的な危険度が変わる

現場での正しい使い分け（会話例）

- 撮影現場（プロ向け）：　「手前の被写体が近すぎて背景とのパララックスが65mmを超えそうだ。レンズ間隔（インカメラーベース）を狭めよう。」
- 開発・ポストプロ（開発者向け）：「L/R画像からディスパリティマップを抽出して、奥にある背景オブジェクトのズレを30ピクセル以内にクランプ（制限）するようにしよう。」

1-3: スクリーン空間と幾何学（負・ゼロ・正のパララックス）

3D立体映像の空間表現は、物理的なディスプレイや銀幕の表面である「スクリーン面（**Screen Plane**）」を基準のレイヤーとして構築されます。

左右の映像の重ね合わせ方（Parallaxの方向）によって、被写体がスクリーンの手前に飛び出すか、奥に引っ込むかが幾何学的に決定されます。この空間的な配置は、「負（**Negative**）」「ゼロ（**Zero**）」「正（**Positive**）」の3つのパララックスとして定義されます。

①ゼロ・パララックス（**Zero Parallax /** スクリーン面）

- 幾何学的状態：　左右のカメラで撮影された被写体の位置が、完全に一致して重なり合っている状態（ズレが0mm）。
- 人間の眼の動き：　視線の交点（輻輳点）が、物理的なスクリーン表面と完全に一致します。
- 知覚される位置：　被写体は「スクリーンの表面（ガラス面）」の高さに存在しているように見えます。

制作における意味

もっとも視覚ストレスが少ない安全な領域です。文字やUI（ユーザーインターフェース）、字幕、あるいは観客に最も長時間注視させたい重要な被写体は、この「ゼロ・パララックス面」の付近に配置するのが鉄則です。

② 負のパララックス（**Negative Parallax /** 飛び出し効果）

- 幾何学的状態：　左右の映像が「交差」してズレている状態。左目用の画像が右側に、右目用の画像が左側に表示されます。
- 人間の眼の動き：　視線をスクリーンの手前で交差させるため、強い「寄り目（輻輳）」の状態になります。
- 知覚される位置：　被写体がスクリーンを突き破り、観客の手前の空間に浮かび上がっている（飛び出している）ように見えます。

制作における意味

インパクトの強い表現が可能ですが、多用すると過度な寄り目を強いるため、眼精疲労（VAC）を急速に引き起こします。また、飛び出したオブジェクトが画面の端（フレーム）に触れると、脳が「手前にあるはずの物が奥のフレームに隠される」という矛盾を検知し、立体感が崩壊する「ウィンドウ・バイオレーション」というエラーが発生します。

③ 正のパララックス（**Positive Parallax /** 奥行き効果）

- 幾何学的状態：　左右の映像が「並行」のままズレている状態。左目用の画像が左側に、右目用の画像が右側に表示されます。
- 人間の眼の動き：　視線の交点がスクリーンの奥へと向かい、眼球が外側を

□□□

正（Positive）	左右がそのままズレる	スクリーンより奥	窓の奥に広がる	限界（65mm）を超えると二重に見える（開散）

ハンドブックのポイント

分かりやすく「飛び出し（負）」と「奥行き（正）」の視覚効果として教え、プロ向けには「網膜上の水平視差の符号（＋/－）」および「瞳孔間距離（**65mm**）を絶対的な幾何学的限界とするシミュレーション計算」として解説することで、理解を促すことができます。

【構成とレイアウト設計】

左右に2つのボックスを並べた「対比構造」のダイアグラムにします。

- 左側：現実世界（**Natural Viewing**）
  - 配置：　上部に「人間の眼（左右）」、下部に「実物のリンゴ」を配置。
  - 光路：　リンゴから眼に向かって伸びる光の線（ピント/調節）を描く。
  - 視線：　左右の眼球から出た視線（輻輳）が、リンゴの表面で完全に**1**点で交わる様子を描く。
  - テキスト補足：　「ピントの位置（調節）＝視線の交点（輻輳）＝一致（快適）」と緑色のバッジで強調。

- 右側：**3D**立体映像（**Stereoscopic 3D**）
  - 配置：　上部に「人間の眼（左右）」、中間に「物理スクリーン（ディスプレイ）」、さらに手前の空間に「脳が錯覚している

リンゴの3D像」を配置。

- 光路（調節）：　光は物理スクリーンから出ているため、眼からスクリーン面へ向かって点線を伸ばし、ピントはスクリーンに固定されていることを示す。
- 視線（輻輳）：　左右の眼球は、映像のズレによってスクリーンの手前にある「リンゴの3D像」を向いており、視線の交点が手前に来ている様子を描く。
- テキスト補足：　「ピントは画面　×　視線は手前 = 矛盾（**VAC / 3D**酔いの原因）」と赤色のバッジで警告。

図解**2**: スクリーン空間と**3**つのパララックス

（第1-3節の末尾に挿入）

【図の見出し】

図　**1-2**: スクリーン面を基準とした「負・ゼロ・正」の幾何学的パララックス構造

【構成とレイアウト設計】

1つの空間の中に、3つの光路と知覚位置を重ね合わせた「断面幾何学図」にします。

- ベース配置：
  - 下部に「左目（L）」と「右目（R）」を並べる。
  - 中央に水平な太線を引き、「スクリーン面（**Screen Plane**）」とする。

- ①ゼロ・パララックス（中心軸）：
    - 描画：　スクリーン面上の真ん中に1つのオブジェクトを配置。
    - 光路：　左右の眼からの視線が、スクリーン面上のそのオブジェクトでぴったり重なる。
    - カラー：　グリーン（安全・基準領域）。

- ②負のパララックス（手前への飛び出し）：
    - 描画：　スクリーン面よりさらに下（眼に近い空間）にオブジェクトを配置。
    - 光路：　左右の眼からの視線がスクリーン面を通り抜けて交差（**Cross**）し、手前のオブジェクトで結ばれる。このとき、スクリーン面上でのL用映像は「右側」に、R用映像は「左側」に位置している（交差視差）。
    - カラー：　マゼンタ　/　レッド（飛び出し・高負荷領域）。

- ③正のパララックス（奥への奥行き）：
    - 描画：　スクリーン面よりさらに上（奥の空間）にオブジェクトを配置。
    - 光路：　左右の眼からの視線が並行（**Uncrossed**）に近い状態で奥へ伸び、奥のオブジェクトで結ばれる。スクリーン面上でのL用映像は「左側」、R用映像は「右側」にある（非交差視差）。
    - 幾何学的限界線：　左右の視線の間隔が「65mm（瞳孔間距離）」になる位置に破線を引き、「これ以上開くと開散（破綻）」という境界線を明示する。

- カラー：　シアン　/　ブルー（奥行き領域）。

第2章　3D撮影・CG空間の設計 Production & Camera Rigging

実写撮影、および3D　CG空間のカメラ設定における物理的なパラメータの決定方法を解説します。

2-1: ステレオカメラの基本配置（平行法　vs　交差法）

3D立体映像を撮影、または3D　CG空間内でレンダリングする際、左右2台のカメラをどのように配置するかは、立体感の品質と視聴者の快適性を決定づける極めて重要な要素です。

カメラの配置方法には、大きく分けて「平行法（**Parallel Setting**）」と「交差法（**Toed-In Setting**）」の2種類が存在します。これらは幾何学的なアプローチが根本から異なり、それぞれに明確なメリットとデメリットがあります。

① 平行法（**Parallel Setting**）

- 幾何学的配置：　左右2台のカメラの光軸（レンズの向き）を完全に平行に

配置する手法です。

- 特徴：　撮影したそのままの状態では、左右の映像のズレが「正のパララックス（奥の奥行き）」側にしか発生しないため、ゼロ視差面（スクリーン面）が存在しません。そのため、ポストプロダクション（編集・コンポジット）段階で、左右の画像を水平にずらす「**HIT**（**Horizontal Image Translation /** 水平画像シフト）」という処理を行い、意図した場所にゼロ視差面を作り出します。

□ □□□□

- 台形歪み（**Keystone Distortion**）が発生しない：
  左右のカメラが同じ平面を向いているため、幾何学的な画面の歪みや、左右の画像での被写体のサイズ差が一切発生しません。
- 垂直視差（**Vertical Parallax**）が発生しない：
  視覚疲労（3D酔い）の最大の原因となる「左右の映像の上下方向のズレ」が理論上ゼロになります。
- 現代の標準的ワークフロー：
  ポストプロでの柔軟性が非常に高いため、現代のハリウッド映画やハイエンドな3D CG制作（UnityやUnreal Engine等のゲームエンジン含む）では、平行法で撮影・レンダリングして後から**HIT**で奥行きを調整する手法がとられています。

□ □□□□□

- 撮影した生の映像をそのまま見ると、すべてがスクリーンの奥に引っ込んで

しまい、適切な立体感になりません。必ず後工程（VFXや編集ソフト）での微調整（HIT）が必要になるため、現場でのリアルタイムなプレビュー確認するには一手間かかります。

② 交差法（**Toed-In Setting**）

- 幾何学的配置：　左右2台のカメラを内側に向けて角度をつけ、特定の被写体の位置で光軸を交差（クロス）させる手法です。
- 特徴：　カメラの光軸が交わったポイントが、自動的に「ゼロ・パララックス面（スクリーン面）」となります。そのため、交差点より手前にあるものは自動的に飛び出し（負）、奥にあるものは引き込み（正）の映像として最初から記録されます。

□ □□□□

- 直感的な撮影：
  カメラに角度をつけるだけで、狙った被写体をスクリーン面に配置できます。後からデジタル処理で画像をシフトさせる必要がないため、撮影現場のモニターで直感的に立体感をプレビュー・確認しやすいという利点があります。

□ □□□□□

- 台形歪み（キーストーン歪み）の発生：
  カメラが内側を向いているため、センサーに対して被写体が斜めに投影されます。結果として、左のカメラは右側が広く、右のカメラは左側が広く写る

□□□

ポストプロの柔軟性	非常に高い（奥行きを後から変更可）	低い（撮影時の立体感に縛られる）
主な用途	映画、3D CG、ゲーム、VR、商用コンテンツ	リアルタイム中継（簡易機材）、実験的撮影

「平行法」と「交差法」のどちらを取り入れるかの判断は、採用するかはその時のショット、アングル、被写体、被写体までの距離などによって変わります。それゆえ、ここではどちらが良いという言い方はしません。ただし、「交差法」は絶対的に後処理の作業のわずらわしさ、注意が伴いますので、初心者には「平行法」をおすすめしています。

現場の全レイヤー（初心者・プロ・開発者）へのアドバイス

- 初心者へ： 3D CGや実写撮影を行う際は、トラブル（3D酔い）を避けるために「原則として平行法を選ぶ」と覚えてください。
- プロの撮影技師へ： リグのセットアップ時は光軸の平行度をレーザー等で厳密にキャリブレーションし、現場でのプレビュー用の一時的な調整としてのみ交差（内振り）を検討してください。最終データは平行+HITが鉄則です。
- 開発者へ： 3Dエンジン内でステレオカメラ（Cinematic Cameraなど）を実装する場合、Toed-in ではなく Off-axis Parallel（光軸は平行のまま、レンズの光学中心またはセンサーを水平にシフトさせてゼロ視差面を作るアプローチ）をシステムに組み込むことで、歪みのない完璧なステレオレンダリングを担保できます。

2-2: カメラパラメータの制御（レンズ間隔と輻輳点）

3D立体映像のクオリティを現場で制御する際、最も重要となる物理パラメータが「レンズ間隔（**Interaxial / Baseline**）」と「輻輳点（**Convergence Point**）」です。

平行法で撮影・制作を行う現代のワークフローにおいて、これら2つの数値をどう設定するかによって、映像の立体感の強弱（デプスバジェット）と、どの被写体を基準面（スクリーン面）に置くかが数学的に決定されます。

① レンズ間隔（**Interaxial Distance / Baseline**）

- 定義：　左右のカメラレンズの中心（光軸）間の物理的な距離。
- 役割：　「立体感の強さ（デプスの幅）」をコントロールします。
- 単位：　ミリメートル（mm）

パラメータ制御の原則

- レンズ間隔を広げる（**Wide Baseline**）：
  両眼視差（Disparity）が大きくなり、奥行き感が強調されます。遠くにある景色や大きな建造物を立体的に見せたい場合に有効ですが、広げすぎると「1/30ルール」の限界を超え、映像が二重にブレる原因（ステレオ破綻）になります。また、被写体がミニチュアのように小さく見える「箱庭効果＝ジオラマ効果（Giantism）」が発生します。
- レンズ間隔を狭める（**Narrow Baseline**）：
  視差が小さくなり、フラットで眼に優しい映像になります。マクロ撮影（近

□□□

□□□

- 開発者へ（**3D CG / XR**エンジンの実装）**：**
  バーチャル空間のカメラコンポーネントを設計する際は、ユーザーの瞳孔間距離（IPD: Interpupillary Distance、約63~65mm）をシステムの基準値（デフォルトのBaseline）とし、そこからスケール（ワールド倍率）に応じてレンズ間隔を動的にスケールアップ/ダウンさせる計算式（マトリクス変換）を実装します。これにより、スケールが崩壊してユーザーがVACによる激しい3D酔いを起こすのを防ぐことができます。

2-3: 立体感の設計（**1/30**ルールの計算と深度割り当ての組み立て）

3D立体映像のクオリティと安全性を担保するためには、あらかじめ画面内に配置する奥行きの総量を定量的に管理する必要があります。これを「深度割り当て（**Depth Budget /** デプスバジェット）」と呼びます。

この深度割り当ての限界値（これ以上カメラの間隔を広げてはいけない限界）を算出するための最も有名な幾何学的指標が、先述した「**1/30**ルール（**1/30 Rule**、**3% Rule**）」※です。本節では、その具体的な計算方法と、実務での深度予算の組み立て方を解説します。

ただし、この「**1/30**ルール」はあくまで過去の研究者、撮影者、制作者などの経験から来た「経験則」のルールであり、ひとつの指標でしかありません。ですから、このルールを盲目的に守ることではないと考えてください。

① **1/30**ルールの具体的な計算方法

1/30□□□

\(\text{□□□

ステップ2：シーンに応じた「デプス・アロケーション（予算配分）」

総深度予算（例：80ピクセル）を、演出意図に合わせて「手前（飛び出し）」と「奥（奥行き）」にどう配分するかを決定します。

- パターン1：ドラマ・対話シーン（安定重視）
  - 手前（負のパララックス）：10ピクセル
  - 基準面（ゼロ・パララックス）：役者の顔
  - 奥（正のパララックス）：30ピクセル
  - 特徴：　総ズレ幅を40ピクセル程度に抑え、観客が長時間の視聴でも疲れない安全な空間にします。

- パターン2：アクション・SFシーン（インパクト重視）
  - 手前（負のパララックス）：35ピクセル（映画の剣や破片が飛び出す限界）
  - 基準面（ゼロ・パララックス）：照準やターゲット
  - 奥（正のパララックス）：45ピクセル（無限遠の背景）
  - 特徴：　総予算の80ピクセルをフルに使い、ダイナミックな空間をデザインします。

ステップ3：ポストプロでのクランプ（限界値の固定）

コンポジット（合成）ソフトウェアやゲームエンジン側で、上記で決定したピクセル数（例：手前35px、奥45px）を超えるDisparityが発生しないよう、深度マップ（Depth/Disparity Map）に対してリミッター（クランプ処理）

をかけます。

各レイヤー（クリエイター・プロ・開発者）への実装アドバイス

- クリエイターへ:
  まずは「カメラのすぐ目の前（1メートル以内）に障害物を置かない」ことを徹底してください。最短被写体が近すぎると、1/30ルールによってレンズ間隔を数ミリにまで狭めなくてはならなくなり、背景の立体感が完全に失われてしまいます（デプスの破綻）。
- プロの撮影技師へ:
  1/30ルールはあくまで映画館などの「大画面」をベースにした伝統的な基準です。近年普及しているスマートフォン視聴やVRヘッドセット向けコンテンツでは、この分母を「**1/50**」～「**1/100**」程度まで厳しく見積もる（レンズ間隔をより狭くする）ことで、現代のデバイスに最適化された、より疲れにくい洗練された立体映像を設計できます。
- システム開発者へ（自動深度予算エンジンの実装）:
  3D CG空間内の動的なカメラシステムを記述する際、レイキャスト（Raycast）等を用いてカメラから最も近いオブジェクトの距離

$$D_{\text{near}}$$

- **Near Distance**（最短被写体距離） ── カメラから、空間内で最も手前（近く）に存在するオブジェクトや壁までの物理距離（mm / 3D空間単位）。
- をリアルタイムに検出させます。その値に基づき、
  Baseline（ベースライン） ── 左右のカメラレンズの物理的な

中心間距離（mm / 3D空間単位）。

$$Baseline = \frac{D_{near}}{30}$$

- のロジックをシェーダーやカメラ挙動のスクリプトに組み込むことで、プレイヤーの目の前に壁やオブジェクトが急接近した際、自動的にカメラの間隔が狭まり、画面が二重にブレるのを物理的に防止する「自動ステレオセーフティシステム」を構築できます。

自動ステレオセーフティ（動的ベースライン）エンジンの数式

3D CG空間（UE5・Unity、あるいはNotch/TouchDesigner等）内の動的なカメラシステムをC++やC#等のスクリプトで記述する際、プレイヤーの目の前に壁や敵アセットが急接近した瞬間に、1フレーム（16.6ms）の遅延もなくカメラの間隔を動的に自動クランプ（縮小）させ、画面が二重にブレる放送事故を物理的に防衛するための「動的ベースライン制御アルゴリズム（**Dynamic Baseline Matrix**）」の数式です。

工学数理として記述した場合は次のようになります。

$$\(B(t) = \frac{\max \left(D_{\text{near}}(t), \, D_{\text{limit}}\right)}{K_{\text{safe}}}\)$$

$$B(t) = \max□(D_{near}(t), D_{limit}) \quad K_{safe} \quad B(t) = \frac{\max$$

\left(D_{\text{near}}(t),\,D_{\text{limit}}\right)}{K_{\text{safe}}}

- \(B(t)\): □□ **\(t\)** □□□□

□□□

http://www.3dc.gr.jp/jp/index.html

2-4□3D□□□

- □□□: □□□□

- □□□□

カル・カラーマッチング技術が利用されています。

④ 時間的・同期エラー（テンポラル・ミスマッチ）

- 現象：　左右の映像の間で、動く被写体の「時間（フレーム）」がズレている状態。
- 原因：　左右のカメラのシャッタータイミングが同期していない（ゲンロックの未接続）、またはカメラの内部時計のズレ。
- リスク：　横に素早く動く被写体を撮影した際、時間のズレがそのまま「不意の水平視差（Parallax）」に化けてしまい、被写体が意図しない奥行きに歪んで見えたり、映像が激しくストロボのようにチラついて見えます。

対策・修正方法

- 実写の3D撮影では、左右のカメラをシンクケーブルで繋ぎ、「ゲンロック（**Genlock /** 外部同期信号）」を確実に供給して1フレーム、あるいはシャッターの位相レベルで完全に同期させます。
- CGレンダリングにおいては、タイムコードやフレームステップが左右で完全に一致していることを確認する自動パイプライン（スクリプトによる検証）を構築します。

3D撮影エラーのチェックリスト（全レイヤー共通）

ハンドブックの現場チェックシートとしてそのまま活用できる、エラーの許容限界値（ター

ゲット：4K上映・表示環境）の目安です。

エラーの種類	許容される限界値の目安（4K環境）	脳への影響・主症状	解決するためのコア技術
垂直ズレ	1〜2ピクセル以内（実質ゼロが理想）	激しい頭痛、眼精疲労、即座の3D酔い	バーティカル・アライメント補正
サイズ差	0.5%以内	空間の歪み、焦点の結びにくさ	スケール・マッチング（拡大縮小）
回転ズレ	0.1度以内	画面周辺部でのステレオ破綻	ロール補正（回転整列）
輝度・色差	目視で識別できないレベル	フリッカー感、立体感の喪失（平坦化）	グローバル / ローカルカラーマッチング
時間ズレ	完全に0フレーム（位相まで同期）	被写体の異常な変形、ブレ	ゲンロック（Genlock）同期撮影

カメラリグ（**3D Camera Rig**）

3D立体映像の実写撮影において、左右2台のカメラを固定し、先述した「レンズ間隔（Interaxial）」や「輻輳点（Convergence）」を精密に制御するための土台となるのが「カメラリグ（**3D Camera Rig**）」です。

カメラリグには、大きく分けて「平行式リグ（**Side-by-Side Rig**）」と「ハーフミラー式リグ（**Beam Splitter Rig**）」の2種類が存在します。

□□□

行式リグでは「カメラのすぐ近く（3m以内）にいる人間のアップ」などを撮影すると、視差が大きすぎて100%ステレオ破綻（3D酔い）するという幾何学的限界があります。

□ 主な用途

- 広大な風景、スタジアムでのスポーツ中継、ドローンやヘリコプターからの空撮など、被写体がカメラから常に遠くにあるシーン。

② ハーフミラー式リグ（Beam Splitter Rig / ビームスプリッター・リグ）

- 構造：　特殊な鏡（ハーフミラー　/　50:50ビームスプリッター）を45度に配置し、1台のカメラはミラー越しに直進する光を撮影し、もう1台のカメラは上（または下）から垂直にミラーに反射した光を撮影する立体的な構造のリグです。
- 特徴：　物理的なカメラの衝突を回避しながら、2台のカメラの視点を光学的に重ね合わせることができます。

□ □□□□

- レンズ間隔を「0mm」まで狭めることが可能：
  光学的に2つのレンズの中心を完全に一致させることができるため、極限までレンズ間隔を狭める（例：10mmや20mmなど）ことが可能です。これにより、カメラの目の前（1m以内）にいる被写体のクローズアップやマ

クロ撮影でも、**3D**酔いを起こさない安全な視差を設計できます。映画のドラマパートや対話シーンでは必須の機材です。

□ □□□□□

- 光量と色の損失（要・ポストプロ補正）**：**
  ハーフミラーを通過・反射する過程で、光量が約1ストップ（半分）低下します。さらに、第2章の2-4で述べたように、透過光と反射光の間で微妙な色転び（カラーシフト）や偏光の差が発生するため、ポストプロでの厳密なカラーマッチングが絶対に必要になります。
- 大型・重量・高コスト**：**
  リグ自体が非常に大きく重くなるため、手持ち撮影（ハンドヘルド）が難しく、クレーンや大型三脚が必要になります。また、ミラーにゴミや傷、フレア（不要な光の反射）が入らないよう、現場での徹底したガラス管理が求められます。

3Dカメラリグの特性比較まとめ

比較項目	平行式リグ（**Side-by-Side**）	ハーフミラー式リグ（**Beam Splitter**）
物理構造	横並び（シンプル）	45度ミラーを用いた立体配置（複雑）
最小レンズ間隔	広い（カメラの横幅に制限される / 約80mm～）	極めて狭い（0mm～自由に調整可能）

得意な撮影距離	遠景・中景（3m以遠〜無限遠）	近景・アップ（カメラの目の前〜数m）
光量の低下	なし（100%の光量を維持）	あり（ハーフミラーにより約1段暗くなる）
重量・機動性	比較的軽量、ドローンやジンバルに搭載可	非常に重く大型、固定撮影が基本
現場でのリスク	役者が近づきすぎると即座にステレオ破綻	ミラーのキズ・汚れ、左右の色・輝度差の発生

実写3D映画の現場では、同じ作品内であっても、広大なオープンセットでは「平行式リグ」、スタジオでの役者の芝居シーンでは「ハーフミラー式リグ」というように、カット単位の深度の要求に応じて機材をスイッチするのがプロの撮影技師の標準的なワークフローである。

以上は2台のカメラを使用した場合ですが、近年は1台のカメラで2眼レンズを装着する方式も出てきています。2眼の視差や光軸は固定ですが、細かい調整をしなくても左右のアライメントが一致するのでメンテナンスとしては非常に有効になります。半面、画角などの調整が出来ないので、スタジオなどの比較的中距離での撮影に向いています。

まとめ：2眼レンズ方式カメラ（比較表）

機種・システム名	視差（レンズ間距離）	画角（視野角）	光軸	主なターゲット

Blackmagic URSA Cine	**64mm**	**210°**	○	180°VR
5.2mm	**60mm**	**190°**	○	EOS R5 180°VR
7.8mm	**11.8mm**	**65°**	○	Apple Vision Pro 3D
Acer SpatialLabs Eyes	**65mm**		○	3D 3D 3D

VR

3D CG

3D CG **Unity / Unreal Engine 5**

CG 3D CG Virtual 3D Camera Rig

Off-Axis Parallel

法）

第2章の2-1で解説した通り、3D CG空間でも「交差法（**Toed-In**）」は台形歪みと垂直視差を引き起こすためすすめられません。

CG空間では、左右のカメラを完全に平行に保ったまま、レンズの光学中心（またはセンサーの位置）を外側にわずかにシフトさせることで、歪みを一切発生させずにゼロ視差面（スクリーン面）を自由に設定する「**Off-Axis Parallel**（偏心平行法 / オフアキシス平行法）」という手法が業界標準（デファクトスタンダード）となっています。

- 仕組み：
  左右のバーチャルカメラの光軸は完全に平行（Parallel）のまま維持します。その上で、各カメラの「非対称な投影マトリクス（**Asymmetric Perspective Projection Matrix**）」を計算し、左右のビュー錐台（Frustum）を内側に少しだけ歪ませる（シフトする）ことで、特定の距離で左右の視野がぴったり重なる「ゼロ視差面」を作り出します。

② 3D CG空間における3つの重要パラメータ設定

デジタル空間のバーチャルリグを制御する際、開発者やCGクリエイターが設定するプロパティは主に以下の3つです。

1. バーチャル・アイ・ベース（Virtual Eye Base / レンズ間隔）

- 設定内容： 仮想空間内での左右カメラの距離（Baseline）。

- **CG**□□□

□2□□2-3□1/30□□□

- **3D CGソフト（Blender / Maya / Cinema4D）：**
  レンダリング設定の「Stereoscopy」を有効にすると、Off-Axisなマルチビューレンダリング（L用/R用の連番画像書き出し）が行われます。

実写リグとバーチャルリグの比較

制御項目	実写3Dカメラリグ	3D CGバーチャルカメラリグ
光軸の制御	物理的な平行度（アライメント）の微調整が必要	数学的に完全な平行（エラー確率0%）
ゼロ視差面の作り方	ハーフミラーの調整、またはポストプロ（HIT）	投影マトリクスの非対称シフト（Off-Axis）
最小レンズ間隔	物理的なカメラのサイズ制限がある（0mm〜100mm）	制限なし（0.001mmでも非干渉で設定可能）
レンダリングコスト	撮影自体のコストは2Dと変わらない	通常の2倍（L/Rで2回レンダリングが必要）
最大のリスク	現場の歪み、同期エラー、色・輝度差	ワールドスケールの不一致による空間の歪み

ハンドブックのアドバイス

「実写のような物理的エラー（垂直ズレや色差）は発生しないが、3D空間内の『物体の

□□□

幾何学的限界（**Geometric Limit**）の理由**:**

この「30」という数値は、人間の両眼視差の許容限界（一般的に画面幅の約3~4%以内、角度にして約1度以内）から逆算された幾何学的な数値です。これを超えると、背景（無限遠）の左右のズレが人間の瞳孔間距離（約**65mm**）を超えてしまい、眼が外側に開く「開散（Divergence）」という異常な状態になり、脳が立体として融合できなくなります（ステレオ破綻）。

開発者向け（デジタル環境での実装・現代の例外）

現代におけるアップデート（**1/30**ルールの限界）**:**

このルールは、元々「映画館の巨大スクリーン（2K/4K）」を想定して作られたものです。**VR**ヘッドセット（**HMD**）や、スマートフォン、裸眼立体ディスプレイなど、画面サイズや視聴距離が異なる現代のデバイスでは、**1/50**~**1/100**など、より厳格な基準（狭い間隔）が必要になるケースが増えています。

ハンドブックでは「視聴環境（画面サイズ）に応じて可変するものである」と補足する。

デジタル・**CG**空間での計算**:**

3D CGやゲームエンジン内でステレオカメラを配置する場合も、ニア・クリップ面（最前面の描画限界）とBaselineの比率を「1:30」に留めることで、安全なデプスバジェット（Depth Budget）を自動計算・制限するシステムを構築できます。

3D撮影におけるエラーとその対策

垂直ズレ（Vertical Misalignment）、サイズ差、色・輝度差の防ぎ方

人間の目を模した構造 **（**ビームスプリッター・リグ**）**

人間の左右の目の幅（約6.3cm）に合わせて2台のカメラを並べようとすると、カメラのボディ自体が物理的に干渉してしまいます。これを解決するため、リグの内部にハーフミラー（ビームスプリッター）を配置しました。1台は直進する光、もう1台はミラーで反射した光を捉えることで、2つのレンズの光軸を極限まで近づけることに成功しています。

アクティブな**3D**調整　**(**コンバージェンス制御**)**
撮影中、サーボモーターを用いて2台のカメラのレンズ間隔（**Interocular**）や輻輳角（**Convergence**、視線が交わる角度）をリアルタイムで制御できます。これにより、被写体の距離に応じて最適な奥行き感を自由にコントロール可能となりました。

圧倒的な軽量・小型化
従来のIMAX　3Dカメラなどは巨大でクレーンに固定せざるを得ませんでしたが、SONYの**VENICE**エクステンションシステム**Mini**のセンサーブロックを分離してリグに組み込むことで、手持ち（ハンドヘルド）での**3D**撮影を可能にしました。

Fusion Camera System

映画監督のジェームズ・キャメロン James Cameronと、撮影技術者のヴィンス・ペイスVince Paceが共同開発した、革新的な3D映画撮影用デジタルカメラリグおよびシステムです。

主な採用実績

このシステムを運用するため、2人は後に「キャメロン・ペイス・グループ（Cameron-Pace Group）」を設立し、多くのハリウッド大作に技術を提供しました。

3Dドキュメンタリー映画『ジェームズ・キャメロンのタイタニックの秘密（Ghosts of the Abyss）』

『アバター』シリーズ（1作目、および『アバター：ウェイ・オブ・ウォーター』の全編実写パート）

『パイレーツ・オブ・カリビアン/生命の泉』（RED MXカメラを統合した進化型リグを使用）

『トランスフォーマー/ダークサイド・ムーン』

https://youtu.be/KmF669UVGtI?si=6mhe39LTmh8MKJ4L

3ALITY（2022年に閉鎖）

3Dカメラリグ： 2台のカメラを精密に連動させて人間の両眼のような立体視を再現する、高精度な電動・自動3Dカメラリグ（TS-5など）を開発しました。

ステレオ画像プロセッサ（**SIP**）：　業界標準となった映像処理ハードウェアおよびソフトウェアアルゴリズムを提供しています。
ライブ中継：　NFLなどのスポーツ中継や大規模イベントで、世界初の生中継3D放送を実現。　[1, 2, 3, 4]
3ALITYの特定の製品（TS-5など）
映画『U23D』

レッドローバー**（**韓国**）**

今でも立体視用のカメラリグが存在し、画角、フォーカス、輻輳角の制御が出来るものもあります。一方一体型のディアルレンズやカメラも出てきており、リグを組み立てての調整よりも楽に使うことが出来るようになってきました。ただしいくつかの注意点も存在します。

立体視用のカメラリグの問題点

問題点は以下の4つに分類されます。

1. 配置（リグの組み方）による幾何学的な歪み

カメラリグには主に「平行式」と「交差（内向）式」の2種類がありますが、どちらも一長一短の欠点を抱えています。 [1]

- 交差式（**Toed-in**）の問題：台形歪み（キーストーン歪み）
  - カメラを内側に傾けてピント位置（収束点）を合わせる方式です。
  - 左右のカメラで被写体を斜めから捉えるため、映像の端に「左右逆向きの台形歪み」が発生します。これが脳内で融合を妨げ、激しい目の疲労や映像酔いの原因になります。 [1, 2, 3, 4]

- 平行式（**Parallel**）の問題：有効画素の損失と計算負荷
  - カメラを完全に平行に並べる方式です。
  - 台形歪みは起きませんが、そのままでは背景の視差が開きすぎて目が破壊されるため、ポストプロダクション（編集）段階で画像を左右にズラす「**HIT**（**Horizontal Image Translation** / 水平画像シフト）」という調整処理が必須になります。その結果、画面の端が削れて、その分画角が狭く（解像度が低く）なるデメリットがあります。 [1, 2, 3]

HITの仕組みと役割

2台のカメラを完全に平行に並べて撮影すると、そのままでは「無限遠（遥か彼方）」がゼロ視差（画面の表面）になってしまい、すべての被写体が画面より手前に飛び出して見えてしまいます。これでは目が疲れて破綻します。

そこで、編集段階で左右の映像を内側に少しだけシフト（スライド）させます。

- シフトした交差点が「画面の表面」になる：左右の映像が完全に重なるポイントが、視聴者にとって「テレビやスクリーンの物理的な表面」の位置になります。
- 手前と奥をコントロールする：
    - 重なった点より背景側にあるものは、画面の「奥」に引っ込んで見える（正視差）。
    - 重なった点より手前側にあるものは、画面から「飛び出して」見える（負視差）。

HITを行うメリット

1. 台形歪みが起きない：カメラ自体を内側に傾ける「交差式リグ」と違い、完全に平行なレンズで撮影した綺麗な映像のまま、後から安全に奥行きを調整できます。
2. デプスバジェットの微調整が可能：編集画面を見ながら、人間の目が最も疲れにくく、かつ立体感が引き立つ位置に「画面の表面（ウィンドウ）」をミリ単位で配置できます。

HITのデメリット・問題点

- 画面端の消失（フローティング・ウィンドウの必要性）：映像を左右にずらすため、画面の左端と右端に「片方の目にしか映っていない領域」が生まれてしまいます。このまま見ると脳が混乱して不快感（ステレオ・ウィンドウ・バイオレーション）を覚えるため、不要な端をトリミング（クロップ）して捨てる必要があります。その結果、元の映像より少しだけ画角が狭くなります。

立体視のワークフローにおいて、HITはまさに「飛び出し感」と「奥行き感」のバランスを支配する重要な工程です。

2． 2台のカメラ・レンズの「個体差」による不一致

人間の目は非常に繊細なため、左右の映像にわずかでも「差」があると不快感を覚えます。[1]

- レンズ性能の不一致（ミスマッチ）：同じ型番のレンズでも、焦点距離、歪曲率（ディストーション）、ズーム倍率にミリ単位の個体差があると、左右でサイズが変わり巨視症・微視症の引き金になります。 [1]
- 光学的特性のズレ：ハーフミラーを使うリグ（ビームスプリッター型）の場合、ミラーを透過した光（片目）と反射した光（もう片目）で、色味、輝度、偏光特性が変わってしまい、脳内で映像が競合する「網膜闘争」が起きます。[1]

3． 同期（シンクロ）の限界

- シャッター同期のズレ（ゲンロックの必須性）：2台のカメラのシャッターが同期されずに撮影されると、動く被写体を見たときに左右の目の位置情報が破綻します。これにより、動く物体だけが不自然に変形したり、立体感が消えたりします。 [1, 2, 3]

4. 物理的なサイズと「基線長（カメラ間距離）」の制約

- 人間の目の幅（約**65mm**）に近づける限界：カメラのボディ自体に厚みがあるため、2台を真横に並べると「目と目の幅（約6.5cm）」よりもカメラの間隔が広くなってしまいがちです。 [1]
- 解決策の代償（ビームスプリッター型）：これを解決するために、ハーフミラーを使って1台を上、1台を横に配置する「ハーフミラー式リグ」が使われますが、今度は機材が極めて巨大かつ重くなり、手持ち撮影や素早いカメラワークが不可能になります。 [1]
- 温度や振動による狂い：移動や現場の温度変化でリグがわずかに歪むだけで、キャリブレーション（光軸合わせ）が狂い、使い物にならなくなります。[1]

カメラリグの調整は「1画素、1ミリ単位」の戦いになるため、現在のコンテンツ制作では、実写カメラリグではなく「**3DCG**空間での仮想ステレオカメラ」による厳密なデプスバジェット管理や、AIによる2D映像からの深度推定（Depth Estimation）技術への移行が進んでいます

一体型カメラ

富士フイルム **FinePix REAL 3D W1**□発売年: 2009年（日本）

Panasonic

HDC-Z10000: 2つのレンズと3MOSセンサーを搭載した、世界初の家庭・業務用ハイブリッド3Dビデオカメラ。

LUMIX DMC-3D1: 2つの4倍ズームレンズを並べた、手のひらサイズのコンシューマー向け一体型3Dデジカメ。

Canon「EOS VR SYSTEM」

RF5.2mm F2.8 L DUAL FISHEYE（視野角180度の本格VR用）

RF-S7.8mm F4 STM DUAL（Appleの「空間ビデオ」や3D向けの視野角60度レンズ）

Blackmagic**Blackmagic URSA Cine Immersive**

XREAL Beam Pro

中国のXREAL社が開発した、ARグラス専用のコンパニオンデバイス（空間コンピューティングデバイス）です。外見はスマートフォンに似ていますが、電話機能やSIMスロットはなく、Wi-Fi環境でARグラスと組み合わせて使用

空間写真の解像度7,680×2,880。アスペクト比4:3、3,840×2,880のSBS。フォーマットJPG/HEIC

空間ビデオの場合1,920×1,080のSBS、フレームレートは60fps。動画フォーマットH.264/H.265

VR3Dカメラ

KanDao QooCam EGO

Kandao Obsidian Pro / Titan

Insta360 **Insta360 EVO**

幻のVRカメラたち

Nokia OZO

2015年に発表し、「プロ向け高級**VR**カメラの絶対的パイオニア」として君臨した歴史的名機

発売当時の価格は約**600**万円（**60,000**ドル）。2017年にVRハードウェア事業から撤退、生産終了

GoPro Odyssey

VRプラットフォーム「Jump」と共同開発し、2015年に発表したプロ専用のモンスターリグ

巨大な円形のリグに、なんと**16**台の「**GoPro HERO4 Black**」を隙間なく円状に並べる

価格は約**180**万円（**15,000**ドル）。限定されたプロのクリエイターにのみ審査制で販売

Yi Halo

中国カメラメーカーYi Technology+Googleとタッグ 2017年に発売した次世代型Jumpカメラ

円状16台のカメラユニット＋「真上（天頂）」撮影**1**台中央に追加 計**17**眼カメラ

価格は約**200**万円（**17,000**ドル）

Insta360 Pro / Pro 2（初代モデル）

2017年に発売されて「プロ向け**VR**カメラを一般ビジネスに普及させた」

「カメラ内リアルタイムステッチ（自動繋ぎ合わせ）」や「ワンクリック編集」

8K解像度の3D 360度価格は初代約**45**万円

なぜこれらの「かつての名機」は姿を消したのか?

ワークフローの過酷さ

「VR360°3D」から「VR180°3D」へのトレンド変化

Google Jumpについて

2015年の開発者会議「Google I/O 2015」でGoogleが発表した、プロ向け**3D 360**度**VR**動画の撮影・制作プラットフォーム

それまで非常に困難だった「実写の立体視（3D）VR」の制作を、Googleの圧倒的なクラウドパワーで自動化し、当時のVR業界の発展を大きく牽引しました。

Google Jumpは単なるカメラの名称ではなく、撮影から視聴までを一気通貫で行うエコシステム（仕組み）でした。

カメラリグ（JUMP Camera）

16台のカメラを完璧な円状に配置するオープンな設計デザインです。特定のカメラだけを指すのではなく、Googleが設計図を公開し、メーカーがハードウェアを製造しました。 [1, 2]

ジャンプ・アセンブラ（JUMP Assembler）

Google Jumpの核となるクラウド型自動動画編集（ステッチ）システム

仕組み: 16台のカメラが撮影した膨大なバラバラの映像データをGoogleのデータセンターにアップロードします。

ここが革命的: 高度なコンピュータビジョン（視覚アルゴリズム）を用い、隣り合うレンズの映像をドット単位でシームレスに合成（ステッチ）。手動では数日〜数週間かかった「左右の目用のズレのない3D映像」の生成を、クラウド上で超高速かつ完全自動で行いました。 [1, 2, 3]

プレイヤー（YouTube）

完成した3D 360度VR動画を一般ユーザーに届けるためのプラットフォームです。[1, 2]

YouTubeがGoogle Jumpの形式に正式対応したことで、ユーザーは簡易VRゴーグル「Google Cardboard」やスマートフォンを動かすだけで、誰でも手軽に世界中のハイクオリティな3D空間を体験できるようになりました。[1, 2]

Google Jumpの画期的なメリット

圧倒的な立体感（全方位**3D**）：ただの平面的な360度動画ではなく、首をどの方向に振っても、手前のものは近くに、奥のものは遠くに見える完璧な奥行き（立体視）を実現しました。 [1, 2]

ステッチ地獄からの解放：それまで手作業で行われ、映像が不自然に歪む原因になっていた「繋ぎ目（ステッチライン）」を、Googleのアルゴリズムがほぼ完璧に消し去りました。 [1, 2]

2019年**6**月にサービスを完全終了

代替ツールの進化：カメラメーカー（Insta360など）が、Googleのクラウドに頼らなくても「カメラ単体」や「市販のPCソフト」で高速に3Dステッチを行える機材を次々と発売したため、役割を終えました。 [1, 2]

過酷なデータ量とコスト：16台以上の高画質映像を毎回クラウドに送るワークフローは、通信環境やストレージの面でプロの現場にとっても非常に重い負担でした。 [1, 2]

Googleの**VR**戦略の転換：Google自体がVR（CardboardやDaydream）から、スマホ向けのAR（拡張現実）技術へと大きく舵を切ったためです。

「光線空間法（Light Field）」による中間視点の自動生成

代表的な作品は以下の通り

『**The New York Times: VR**』（ドキュメンタリー）

『**LOOT**』（サスペンス・アクション短編映画）

『**A World Tour by Google Expeditions**』（教育ドキュメンタリー）

□Googleが学校教育向けに展開した「Google Expeditions（遠足）」プログラム用のコンテンツです。世界遺産のチチェン・イッツァ（メキシコ）やマチュピチュ（ペルー）、あるいは深海のサンゴ礁などをGoPro Odysseyで撮影

第3章□3D映像CG・VFX ポストプロダクションとVFX
Post-Production & VFX

3D映像のポストプロダクションとVFXでは、左目用（L）と右目用（R）のストリームを完全に同期して処理し、視差エラーを排除しながら美しさを追求することが不可欠です。本節では、HIT（水平画像シフト）によるアライメント調整、オートアライメントによる垂直視差の除去、Z深度を一致させた合成技術など、実写・CG映像を立体的に統合するワークフローを解説しました。これらの技術はDaVinci ResolveやNukeなどのツールを用いて実施され、ステレオクオリティ管理（QA）が制作の核心となります。

3-1: ステレオ編集・コンポジットの基礎

ステレオポストプロの主目的は、第2章で発生した「撮影時の物理的エラー」を完全に消去し、演出意図に基づいた「深度管理設計（Depth Budget）」をピクセル単

位で正確にコントロールすることです。

① ステレオ・アライメント補正（幾何学エラーの自動・手動修正）

コンポジット（合成）やカラーグレーディングの最初に行うのが、左右映像の幾何学的な不一致を無くす「アライメント補正」です。

ハリウッドのVFX現場で標準的に使用される『Nuke（Foundry社）』のOculaプラグインや、『DaVinci Resolve』のステレオ3Dツールセットでは、以下の処理が自動および手動で行われます。

- オプティカルフロー（**Optical Flow**）解析**:**
  左右の映像の全画素（ピクセル）の動きと位置関係をAI・アルゴリズムで解析し、L画像とR画像の対応する点を網羅した高精度な「視差ベクター（Disparity Vector）」を生成します。
- 垂直視差・回転の自動検知と修正**:**
  第2章-4で解説した、脳に致命的なダメージを与える「1~2ピクセルの垂直ズレ（上下ズレ）」や「微細な回転ズレ」を、生成した視差ベクターを基にミリピクセル単位で自動的にリバランシング（再整列）し、完全に水平なステレオ状態へと補正します。

② HIT（Horizontal Image Translation / 水平画像シフト）の実装

平行法で撮影されたクリーンなL/R映像に対して、「ゼロ視差面（スクリーン面）」を前後に動かして立体感をデザインする作業が **HIT**（水平画像シフト） です。

- □□□:
  □□□□

□□□

□□□

2D-3D変換（Deepening）の技術

グラフィックスと字幕（**Overscan & UI**）

3D空間における字幕（Subtitles）やUI配置の最適化

ウィンドウバイオレーション（画面端での立体矛盾）の回避

3D映像の合成・編集

3D映像の合成や編集のためにはLRのフッテージを同時に扱う必要があります。編集点、グレーディング、視差の調整、ロールの調整などが必要になります。
ツールとしてはNuke（NukeX / Nuke Studio）、DaVinci Resolve Studio（Fusion Studio）が最適なツールです。

1. 実写3Dカメラ映像の合成・編集（ステレオマッチング）

左右2つのレンズで撮影された実写映像は、一見同じに見えても、レンズの個体差や固定位置のわずかなズレ（歪み・色味・高さ）があります。これを完全に一致させないと、視聴者が激しい眼精疲労や頭痛を起こします。その作業をステレオマッチングと呼びます。

Nukeでの主要な作業手順

Oculaプラグイン（または標準立体視ツール）の活用
Nukeには、左右の映像のズレをピクセル単位で解析・修正するための最高峰のツール群が用意されています。

バーティカル・アライメント（垂直方向のズレ修正）

□□□

□□□

VR空間に文字やCGを合成する場合、平面に置くと歪んでしまいます。Nukeの3D空間上で球体にプロジェクト（投影）するか、VR用のカメラトラッカーを使用して空間に配置します。

最終編集

Nukeで合成した重いVR動画を出力した後は、DaVinci Resolveのタイムラインに持ち込みます。**DaVinci Resolve**は16KまでのVRタイムラインに対応しており、ヘッドマウントディスプレイ（HMD）をPCに繋いで、実際の見え方を確認しながら最終的なカット編集や色調整が可能です。

3-2：2D-3D変換（2D-3D Conversion）技術の理論と実装

3D映像は常に2眼カメラや2台のカメラで撮影するとは限りません。通常の撮影したものを後から3D立体化したり、リアルタイムに立体にする「2D3D変換技術」が出てきました。国内でもJVCビクター、〇〇など、何社かが専用機などを開発しました。また、2D3Dコンバージョンサービスをおこなうプロダクションも出現しました。ハリウッドではStereoD（現SDFX）、Prime Focus、Legend3Dなどのスタジオが現在でもサービスを行っています。国内でもキューテック(Q-Tech)などがサービスを始めましたが、現在はサービスを休止しています。NHKテクノロジーズは現在もサービスを継続中です。

撮影コストの削減や、過去の膨大な2D映像資産（アーカイブ）の有効活用、あるいは実写3D撮影が困難な過酷な環境でのリカバリー策として、ポストプロダクションにおいて極めて重要な位置を占めるのが「**2D-3D**変換（**2D-3D Conversion / 擬似3D**化）」です。

2D-3D変換とは、1枚の平面画像（2D）から、最新のアルゴリズム、AI、およびアーティストの手作業によって「擬似的な左右の視差（Disparity）」を創り出し、高品位な3D立体映像へと再構築する技術です。

① 2D-3D変換の基本メカニズム

2D-3D変換のワークフローは、本質的に「デプスマップ（**Depth Map /** 深度マップ）の生成」と「ピクセル・ディスプレイスメント（**Pixel Displacement /** 画素置換）」の2つのステップで構成されます。

1. デプスマップ（深度マップ）の生成

- 概要**:** 2D映像の1フレームに対し、画面内の「何が手前にあり、何が奥にあるか」を白黒のグラデーションで表現した2次元のグレースケール画像を生成します。
- 階調のルール**:** 一般的に、「最も手前（最前面）のオブジェクトを完全な白（**255**）」、「最も奥（無限遠）の背景を完全な黒（**0**）」として定義し、その間を256階調のグレーで滑らかに繋ぎます。
- 生成の手法**:**
    - **AI**・ディープラーニング（**Depth Estimation**）**:** 近年では、MiDaSやDepth Anythingなどの**AI**モデル（単眼深度推定アルゴリズム）を用いて、1枚の2D画像から一瞬で高精度なデプスマップのベースを自動生成する技術が主流となっています。
    - アーティスティック・ロトスコープ**:** 自動生成では境界線が曖昧になりがちな被写体の輪郭（髪の毛やエッジなど）に対し、

□□□

□□□

毛髪や半透明物の処理	非常に困難（ガラス、煙、細い髪のデプス化には高度なVFXが必要）	容易（物理的な光の透過がそのまま記録される）

現場の全レイヤー（初心者・プロ・開発者）への実装アドバイス

システム開発者へ（リアルタイム変換エンジンの実装）：

Apple Vision Proなどの空間コンピュータや最新の3Dテレビでは、2Dの映画や配信映像をリアルタイムで3Dに変換して表示するコンバージョンシェーダーがOSレベルで実装されています。開発の際は、単眼深度推定モデル（ニューラル・プロセッシング・ユニット/NPU用に軽量化したAIモデル）をパイプラインの最前段に組み込み、毎フレームのデプスマップから頂点シェーダー（Vertex Shader）上でメッシュを前後に歪ませることで、実時間（低遅延）での空間的Off-Axisレンダリングを可能にします。

初心者クリエイターへ：

近年はスマートフォンのポートレートモード等で手軽にデプスマップが取得できます。2D-3D変換の感覚を掴むには、まず静止画とデプスマップを用意し、After Effectsの「ディスプレイスメントマップ」エフェクトを使ってL/R画像を自作してみるのが最も直感的な学習ステップです。

プロのVFXアーティスト・カラリストへ：

完全にフラットな壁や、グラデーションのない単色背景（グリーンバック等）の前に被写体が立っているカットは、オクルージョンの隙間を埋めるインペインティング（背景補完）が最も容易であるため、2D-3D変換に極めて向いている「セーフなカット」です。逆に、手前に細かい網の目のフェンスがあり、奥に複雑な群衆がいるようなカットは変換コストが爆発するため、絵コンテの段階でNative 3D撮影にするか避けるべきです。

3-3: 国内外における2D-3D変換の主要専門スタジオ

2D-3D変換（2D-3D Conversion）は、膨大な手作業と高度な自動化アルゴリズム、そして厳格なステレオクオリティ管理（QA）を必要とするため、ハリウッドの大型ブロックバスター映画や大手配信プラットフォームのコンテンツ制作では、世界的な実績を持つトップクラスの専門**VFX**・ステレオ変換スタジオに発注されるのが一般的です。

① 海外の主要スタジオ（進化を続けるハリウッドの巨人）

ハリウッド映画の3Dコンバージョン市場は、数千人規模のアーティストを抱えるグローバル企業が牽引しています。近年では、3D映像に加えて総合VFXスタジオへと進化を遂げる動きが活発です。

1. SDFX Studios（エスディーエフエックス・スタジオ / 旧 Stereo D）

- 概要：
  1950年代からの歴史を持つポストプロダクション大手「Company 3」傘下のスタジオであり、かつて「**Stereo D**（ステレオ・ディー）」の名で世界に轟かせた最高峰の立体視変換・VFX専門スタジオです。2022年に、立体映画のレガシーを引き継ぎつつフルサービスのVFXビジネスへと進化するため「**SDFX Studios**」へとリブランディングを行いました。 [1, 2, 3]
- 特徴と実績：
  『マーベル・スタジオ』作品（『スパイダーマン：ブランド・ニュー・デイ』

□□□

□□□

1. キュー・テック（Q-TEC / かつての先駆的サービス）

- 概要：

  日本のアニメーションやポストプロダクションを牽引してきた総合ポストプロダクションです。国内の映画館にデジタル3Dシネマ（RealDシステム）が導入され始めた2000年代後半、日本のアニメーション（**2D**）を高品質に**3D**立体映像化する「**2D-3D**変換サービス」をいち早く商用展開したパイオニアとして知られています。 [1, 2, 3]

- 歴史的実績：

  『劇場版 遊☆戯☆王』『映画 あたしンち3D』『トリコ3D カイマク！』など、日本のセルアニメ特有の平面的で線の多い映像に対し、キャラクターを自然にレイヤー化して破綻なく奥行きを与える独自のコンバージョンノウハウを確立しました。現在は3Dブームの終焉に伴い当時のスタジオとしての変換サービス単体は収束していますが、そこで培われたデプス管理やアニメーションのコンポジット（撮影）技術、デジタルリマスタリングのノウハウは、現代の4K/8Kリマスターや高精細映像処理の基盤へと受け継がれています。 [1, 2]「キャプテン・ハーロック3D」

2. NHKテクノロジーズ（NHK Technologies）

- 概要：

  NHKグループの技術集団として、放送の最先端を担う総合技術会社です。

- 特徴と実績：

  エンターテインメントの映画とは異なり、「放送・リアルタイム中継・**8K**超高精細映像」と立体視の融合において国内トップクラスの技術ソリューショ

ンを持っています。過去の膨大なNHKアーカイブ映像（2D）を教育・展示イベント用に立体化する高度な変換技術を保有しているだけでなく、近年では8K映像の空間音響（3Dオーディオ）技術と組み合わせることで、VR/XR空間における超臨場感コンテンツの生成・シミュレーションの技術開発をリードしています。 [1]

3. ソリッドレイ研究所（Solidray Laboratories）

- 概要：
  日本の産業用VRおよび立体映像のパイプラインにおいて、古くから最前線を走る先駆的な企業・研究所です。位置関係や濃淡変化から凹凸を類推し、高速にデプスマップを生成する「リアルタイム3D変換」のシステムを展開し、国内の立体視設計の指標となっています。

4. ノヴィアス（Novius）

- 概要：
  AI（人工知能）を活用した動画の3D化技術および、裸眼3Dディスプレイ向けの映像変換技術をリードする日本の開発・クリエイティブスタジオです。単眼の2D画像コンテンツから、AIモデル（ディープラーニング）を用いて極めて高精度に距離（DEPTH）を予測・抽出する最新技術を商用展開しています。

世界の3Dコンバージョン・スタジオ構造

□□□

視聴ストレス（3D酔い・映像酔い）の軽減

輻輳・調節矛盾（Visual Fatigue / VAC）の原因と対策

3D立体映像の方式

映画

アトラクション

ディスプレー

LED

ドーム

VR

4-1: 3Dディスプレイの方式と特徴

ポストプロダクションや3D CG空間で完璧に設計された視差（Disparity）データも、最終的にコンテンツを映し出すディスプレイの方式によって、観客への届き方や視覚ストレスの度合いが変化します。

現代の立体視ディスプレイ技術は、大きく分けてメガネを着用する「偏光方式」「アクティブシャッター方式」、そしてメガネ不要の「裸眼立体ディスプレイ（空間再現ディスプレイ）」の3種類に分類されます。それぞれの表示メカニズムと、制作上の注意点を解説します。

① 偏光方式（パッシブ方式: Passive Polarized Glasses）

- 仕組み：
  ディスプレイの表面に特殊な偏光フィルター（FPRなど）を配置し、奇数ラインの画素には「左回り（または左傾斜）」の光、偶数ラインには「右回り

□□□

時分割方式）

- 仕組み：
  ディスプレイ側が、1秒間に120回~240回という超高速で「L画像」と「R画像」を交互に切り替えてフルスクリーン表示します（時分割表示）。これに同期して、観客が装着した「液晶シャッターメガネ（アクティブメガネ）」の左右のレンズが、赤外線やBluetooth信号によって交互に不透明（黒）に切り替わり、左目の時は左レンズ、右目の時は右レンズを物理的に開閉します。
- 主な用途：
  IMAX 3Dシアター（一部のデジタル方式）、高級プロジェクター、かつてのハイエンド3Dテレビ、PCゲーム用3Dシステム（NVIDIA 3D Visionなど）。

□ □□□□

- フル解像度を維持： ディスプレイの全画素を使ってL/Rを交互に出力するため、パネルの持つオリジナル解像度（**4K**なら完全な**4K**）を**100%**維持したまま、極めて高精細な立体感が得られます。
- クロストークが少ない： 完全に映像を時間で遮断するため、偏光方式に比べて左右の映像が混ざり合うゴースト現象が抑えられます。

□ □□□□□

- フリッカーと輝度の低下： 高速で画面とメガネが明滅するため、蛍光灯な

□□□

□ □□□□

- 完全なメガネフリー：　視聴者の物理的・心理的ハードルを完全になくし、現実の空間にオブジェクトが実在するような「窓覗き込み効果」を提供します。
- 高い没入感：　視点を左右上下に動かすと、それに合わせてオブジェクトの側面や底面が見える「運動視差（Motion Parallax）」を再現できるため、2眼式3Dを超えた空間認識が可能です。

□ □□□□□

- 同時視聴人数の制限：　基本的に「カメラが認識している1人（または特定の数人）」に向けて最適な光を届ける設計であるため、映画館のように多人数がバラバラの位置から同時に同じクオリティの立体を見る用途にはまだ向いていません。
- 開発・制作コストの高さ：　1つの2D視点（SBSなど）だけでは機能せず、デバイス固有のSDK（Unity/Unreal Engineプラグイン）を用いて、複数アングルのマルチビュー映像を同時にリアルタイム生成・出力するシェーダー実装が必要です。

3Dディスプレイ方式の比較まとめ

比較項目	偏光方式（パッシブ）	アクティブシャッター方式	裸眼立体ディスプレイ（空間再現）

メガネの有無	必要（安価・軽量）	必要（高価・重い・要充電）	不要（肉眼で視聴）
実質解像度	半分に低下する	**100%**維持（フル**HD/4K**）	デバイスの画素をマルチビューに分配
画面のチラつき	なし（フリッカーフリー）	あり（フリッカーによる疲労リスク）	なし
画面の明るさ	比較的明るい	大幅に暗くなる（要・輝度補正）	非常に明るく鮮明
ターゲット人数	多人数向け（映画館、ライブなど）	中〜多人数向け（シアター、ホーム）	個人・サイネージ向け（1〜数人）

現場の全レイヤー（クリエイター・プロ・開発者）への実装アドバイス

クリエイターへ**：**

自分が制作している映像が、最終的に「偏光（映画館）」と「シャッター（IMAX/TV）」のどちらで上映されるかを必ず確認してください。アクティブシャッター環境がゴールの場合は、映像が暗く沈むことを見越して、波形モニター（Waveform）を見ながらシャドウを持ち上げた「3D専用のマスター」を作る必要があります。

プロのカラーリスト・**VFX**アーティストへ**：**

偏光方式のモニターで作業する場合、首を傾けるとクロストーク（二重ブレ）が発生するため、常に画面に対して頭を垂直に保つよう注意してください。また、画面の周辺部で発生しやすいクロストークを検知するために、前章で解説した「差分表示モード」を併用することが必須です。

システム開発者へ（裸眼**3D/**空間再現ディスプレイの実装）**：**

□□□

□□□

- □□□:
  1□□□

ディスプレイ側が、1秒間に120回~240回（120Hz~240Hz）という超高速で、L画像とR画像をフル画面で交互に出力（フレームシーケンシャル）します。

これと同期（赤外線やBluetooth通信）して、メガネ側の「液晶シャッター」が「左目表示の瞬間は右のレンズを黒く閉じ、右目表示の瞬間は左を閉じる」という物理的な開閉を毎秒120回以上繰り返します。 [1, 2]

- 技術的な特徴：

  パネルの画素を余すことなく使うため、**100%**フル解像度のハイクオリティな立体視（完全な**4K**画質など）が可能です。

  一方で、メガネに「液晶パネル、受信機、バッテリー」を搭載する必要があるため、**1**個あたり**1**万~**2**万円と高価で重く、フリッカー（チラつき）による目の疲労リスクを伴います。 [1, 2, 3]

比較表（ハンドブック掲載用）

比較項目	偏光方式（パッシブ）	アクティブシャッター方式（時分割）	ライトフィールド（**Looking Glass**）
メガネの有無	必要（安価・軽量フィルム）	必要（高価・電子回路・要充電）	完全に不要（肉眼）
解像度の変化	半分に低下する（空間分割）	**100%**フル解像度を維持（時分割）	パネル画素をマルチビューに分配

主な劇場・ブランド	RealD、映画館の主流	XPAND、IMAX（一部デジタル）	サイネージ、3Dクリエイターの卓上
家庭・**TV**の代表格	LG（CINEMA 3D）	ソニー（BRAVIA）、パナソニック	Looking Glass Go / 16″ / 32″ / 65″
最大のリスク	首を傾けると発生するクロストーク	フリッカー（チラつき）による激しい疲労	レンダリングパス数増によるPCのGPU負荷

1. 映画館の立体方式（プロジェクター投影システム）

映画館では、1台または2台の超高輝度プロジェクターから発せられた光をスクリーンに反射させ、観客のメガネで分離する手法が主流です。主に以下の3つの方式が世界中のシアターを二分しています。

① RealD（リアルディー）方式 ── 【世界シェアNo.1・円偏光】

- 日本の多くのシネコン（TOHOシネマズ、イオンシネマなど）で採用されている最もスタンダードな方式です。
- 仕組み： 1台のプロジェクターのレンズ前に、高速で偏光の向きを切り替える特殊な「電子シャッター（フィルター）」（ZScreen）を配置します。L映像の時は「右回り」、R映像の時は「左回り」の「円偏光（**Circular Polarization**）」の光を秒間**144**回という高速に切り替えてスクリーンに映します。

- スクリーン：　光の偏光特性を維持したまま反射させるため、表面に銀をコーティングした高価な「シルバースクリーン」が必須となります。スクリーンの張替えが必要です。
- 特徴：　観客は軽量なプラスチック製の円偏光メガネを着用します。首を左右に傾けても映像が二重（クロストーク）になりにくいのが最大のメリットです。

② IMAX 3D（アイマックス）方式 ―― 【最高峰の没入感・2台同時投影】

- 仕組み：　2台のプロジェクターを同時に使い、右目用の映像と左目用の映像を同時にスクリーンに重ねて映し出します。非常に明るいレーザー方式です。
- 特徴：現在は「円偏光」を使用するため、以前の首を傾けると映像が二重にブレる弱点を克服しました。また、一部のシアター（GTレーザー）では左右のプロジェクターから、それぞれ波長（色成分）を変えた光を射出する「波長多重方式（分光方式　/　ドルビー3Dに近い技術）」を採用しています。

③ Dolby Cinema 3D（ドルビーシネマ）　ー　【最高峰の色再現とコントラスト】

「最上の映像と音響」をうたうドルビーシネマの劇場で体験できる最先端の3Dです。

- 仕組み：　「分光（波長多重）方式」と呼ばれます。2台のレーザープロジェクターを使い、右目用と左目用で「同じ赤・緑・青でも、ほんの少しだけ波長（色味）が違う光」をスクリーンに映します。

- □□: □□□□

Dolby Cinema 3D（ドルビービジョン）	プロジェクター**2**台（RGBレーザーによる波長分離）	分光・波長多重 **14.0 ft-L**以上	色鮮やか、黒が引き締まる3D特有の「暗さ」が最も少ない	導入劇場が少なく、高価・要返却

2. LEDディスプレイの立体方式（次世代・自発光型）

近年、商業施設や映画館（LEDシアター）で爆発的に普及している大型LEDディスプレイ（SonyのCrystal LEDやSamsungのOnyxなど）における立体方式です。プロジェクターのような「光の反射」ではなく、「**LED**素子自体が自ら発光する」という特性を活かしたアプローチが行われます。

① アクティブシャッター方式（フレームシーケンシャル）──【屋内・展示の主流】

- 仕組み**：** LEDパネル自体が、超高速（例: 120Hz~240Hz）でL画面とR画面を丸ごと交互に切り替えて自発光します。観客は通信で同期したアクティブシャッターメガネを着用します。
- メリット**：** LEDはプロジェクターと違って「圧倒的な輝度（明るさ）」と「完全な黒（高コントラスト）」を出せるため、シャッターメガネを通しても映像が全く暗くならず、吸い込まれるような超高精細な立体感が生まれます。

② 偏光方式（FPR / 空間分割）──【LEDシネマ・耐久性重視】

- 仕組み**：** LEDディスプレイの表面（モジュール表面）に、1ラインごと

□□□

比較項目	映画館（プロジェクター投影）	LEDディスプレイ（自発光）
立体表現の明るさ	暗くなりやすい（メガネやスクリーンで光が減衰）	極めて明るい（自発光のためシャッター式でも鮮明）
コントラスト（黒）	部屋全体の乱反射で黒が浮きやすい（グレーになる）	完全な黒（漆黒）が出せるため、奥行きのリアリティが圧倒的
スクリーンの制約	偏光式の場合、高価なシルバースクリーンが必須	表面の偏光ラミネート、またはシャッター同期システム
裸眼立体（メガネなし）	劇場の構造上、ほぼ不可能	可能（L字構造の錯視サイネージ、または超大型裸眼パネル）

ハンドブック執筆のアドバイス

「今後の展望」の章に繋がる重要なポイントとして、「これからのイマーシブシアターは、プロジェクターからLEDディスプレイへとシフトしていく。LEDの圧倒的な輝度とコントラストは、従来の3D映画の最大の弱点であった『画面の暗さ』を完全に克服し、VAC（輻輳・調節矛盾）のストレスさえも脳の錯覚で軽減させるほどリアルなデプス（深度）をもたらす」と結論づけると、開発者や撮影技師にとって極めてエキサイティングな未来の指針となります。

1. サムスン（Samsung）：「Onyx（オニキス）」Cinema LED ――【映画館】

- 製品の概要：
  世界初のDCI（映画業界規格）認証を受けた、劇場用大型LEDシアタースクリーンです。プロジェクターを使わず、壁一面に並べられた高精細LEDパネルが直接映画を描写します。 [1]

- **3D**技術と実績**：**

  立体視システムとして「**Onyx 3D**」というパッケージを提供しています。時分割（アクティブシャッター方式）をメインに採用しており、従来の3D映画の弱点だった「メガネをかけると画面が暗く沈む、字幕が二重にブレる」という欠点を完全に克服しました。

  - 実績***：*** 韓国やアメリカ、インドなどの主要都市のシネマコンプレックスに導入され、ジェームズ・キャメロン監督の『アバター：ウェイ・オブ・ウォーター』などの超大作において、かつてない明るさと漆黒の奥行きを持つ最高品質の3D映画体験を提供しました。 [1, 2, 3, 4]
  - 家庭用：裸眼**3D**ゲーミングモニター「**Odyssey 3D**」サムスンが個人向けに発売している4Kゲーミングモニターです。アイトラッキング（視線計測）技術とAIを活用し、**3D**メガネなし（裸眼）で**PC**ゲームや動画を立体的に楽しめる最新の「空間ディスプレイ」技術を搭載しています。

2. ソニー（Sony）：「Crystal LED」シリーズ ── 【産業・制作現場】

実績***：*** 製造業（自動車メーカーの3D CADデザインレビュー）や医療シミュレーションの場において、メガネをかけても全く暗くならない超高精細な立体プレビュー環境として導入されています。また、ソニーPCL（東宝スタジオ内など）が主導する「バーティカル・プロダクション（背景のLEDに3D空間を描いて現実の役者と同時に撮影する手法）」のスタジオにおいて、立体的な空間の広がりや運動視差を検証する制作機材のインフラとなっています。 [1, 2, 3]

製品の概要：
画素ごとに極めて微細なLED素子を配置した、ソニーの最高峰自発光ディスプレイシステムです。 [1]

3D技術と実績：
最新のCシリーズ、Bシリーズ、および映画撮影専用の「VERONA（ヴェローナ）」などは、標準で「**3D**入力信号（アクティブシャッター方式用の同期）」に対応しています。

実績： 製造業（自動車メーカーの3D CADデザインレビュー）や医療シミュレーションの場において、メガネをかけても全く暗くならない超高精細な立体プレビュー環境として導入されています。また、ソニーPCL（東宝スタジオ内など）が主導する「バーチャル・プロダクション（Virtual Production）」のスタジオにおいて、立体的な空間の広がりや運動視差を検証する制作機材のインフラとなっています。 [1, 2, 3]

Liminal Space（リミナル・スペース）社 [1]

彼らが開発した特許技術「**Ghost Tile**（ゴースト・タイル）」は、従来の3D映画やプロジェクター投影の方式とは違い、「大人数が同時にホログラフィックな**3D**空間を共有する」という次世代のイマーシブ体験を実現しています。 [1, 2]

日本国内では、大型映像・音響インフラの最大手であるヒビノ株式会社（**Hibino**）が2023年に同社と資本業務提携および技術ライセンス契約を結び、展示、ライブコンサートなどで運用実績を上げています。 [1, 2, 3]

技術の核心：パッシブ3次元LED技術「Ghost Tile」

Liminal Space社が手がける「Ghost Tile」は、LEDパネルの表面に独自の微細な偏光フィルターを施工したパッシブ（偏光）方式の**3**次元**LED**ディスプレイ技術です。 [1, 2]

観客は軽量な専用3Dグラスを着用して鑑賞します。この技術の登場により、従来の「3D映画館（プロジェクター投影）」が抱えていた弱点がすべて解決されました。[1]

1. 圧倒的なステレオ・コントラスト比
   プロジェクターは暗い部屋でも光の乱反射で「黒」が浮いてしまいがちですが、自発光LEDであるGhost Tileは「完全な漆黒」を表現できます。これにより、3D映像の背景が完全に闇に溶け込み、被写体が本当に空気中に浮かび上がっているような（浮遊感のある）リアルなホログラム効果を生み出します。 [1, 2, 4]
2. 演者の影（キャストシャドウ）問題の解消
   従来のプロジェクションマッピングや3D投影では、スクリーンとプロジェクターの間にアーティストが立つと「人間の影」が映像に映り込んでしまい、立体感が破綻していました。Ghost Tileは「背景のLED自体が3D映像を発光している」ため、画面のすぐ目の前に演者やリアルな美術セットを配置し、映像と現実の人間を完全に融合させた演出が可能になります。 [1, 2, 3]
3. 高輝度・低遅延による「**3D**酔い」の劇的軽減
   アクティブシャッター方式のような画面のチラつき（フリッカー）がなく、非常に高いリフレッシュレートと超高輝度を維持できるため、長時間のイベントでも**3D**酔いや眼精疲労（**VAC**）のリスクが極めて低いという、生体的な優位性を持っています。 []

国内外における代表的な導入実績

1. YOASOBI ZEPP TOUR 2024 “POP OUT” ── 【アジア初のドーム・ライブ運用】

- 概要：
  ヒビノ株式会社は、YOASOBIのZeppツアーにおいて、Liminal Space社のGhost Tileを搭載した大型LEDシステム「**Immersive LED System**」をアジアで初めてライブステージに実戦投入しました。 []
- 演出効果：
  入場時に観客全員に3Dグラスが配られ、ライブが始まると、ステージ背景のLEDからグラフィックスやキャラクターが客席に向かって縦横無尽に飛び出す、圧倒的な没入型エンターテインメントを提供。実写のアーティストのパフォーマンスと、LEDから出力される超高精細な3D VFXが空間で完璧にシンクロする未来のライブ演出を証明しました。 [1, 2]

2. STAR ISLAND 2024（お台場・福岡） ── 【未来型花火エンタメへの導入】

- 概要：
  伝統的な花火と3DCGテクノロジーを融合させた大型未来型花火エンターテインメント「STAR ISLAND」にて、ヒビノのImmersive LED Systemが導入されました。 [1]
- 演出効果：
  会場の浜辺近くの特設ステージに、約90平米におよぶ半円状のGhost

Tile LEDを設置。現代アーティスト・YOSHIROTTEN氏の太陽をモチーフとした3Dアート作品『SUN』の映像などを上映し、リアルな夜空の花火と、目の前に浮かび上がる巨大な3D光線アートが融合する、唯一無二の屋外空間演出を成功させました。 [1]

3. 北米市場（H&X Technologiesとの連携）

- 概要：
  アメリカ市場においては、大手映像レンタル・制作会社の「H&X Technologies」がLiminal Space社と提携し、同じくGhost Tileのレンタル運用を行っています。 [1, 2]
- 実績：
  世界的な音楽フェスティバル（Coachellaなどでの Flying Lotusの3Dライブステージ）や、大型のコーポレートイベント、展示会（水族館での巨大クジラの3Dライトフィールド再現など）において、メガネ型でありながら「VRヘッドセットの中に全員で一緒に入り込んでいるかのような感覚」を共有する、次世代の空間ストーリーテリング（Spatial Storytelling）の基盤として広く活用されています。 [, 2]

ハンドブックまとめ

「***3D***立体映像は、かつての『映画館の座席に座って四角いフレームを覗き込んだり、映画館で鑑賞する受動的なメディア』から、『現実のアーティストや空間演出（照明・レーザー・スモーク）と***3DCG***が同一空間で溶け合う、能動的なイマーシブ・インフラ』へと進化を遂げようとしています。クリエイターや開発者は、単に画面内の奥

行きを計算するだけでなく、現実の空間とデジタル視差（***Disparity***）をいかにシームレスに調和させるかという、より高次元な空間設計スキルを求められます。」*[1, 2]*

4-2: VR/AR/MRヘッドセットにおける立体視（空間コンピューティングの最適化）

映画館やLEDサイネージのように「1枚の画面を離れて見る」環境とは異なり、**VR/AR/MRヘッドセット（HMD: Head Mounted Display）**を用いた立体視は、観客の目の前に配置された左右2枚の独立した超高精細ディスプレイに、それぞれ専用の映像を直接届ける仕組みです。

VRゴーグルの種類などをリスト化する

視野のほぼすべてがデジタル空間に覆われるため、没入感（臨場感）は全方式の中で最も高い一方、わずかな視差設計の誤りが「激しい**VR**酔い」や「空間認知の狂い」に直結します。本節では、Apple Vision ProやMeta Questシリーズを筆頭とする現代の空間コンピューティング環境における立体視の制御と、レンダリング最適化について解説します。

① 瞳孔間距離（IPD / Interpupillary Distance）の動的・静的最適化

HMDによる立体視を破綻させないための絶対的な前提条件が、ユーザーの**IPD**（瞳孔間距離）と、デバイスのレンズ位置・仮想カメラの間隔（Baseline）を完全に一致させることです。

- **IPD**のミスマッチがもたらす問題**:**

  ユーザーの実際の目の間隔（例: 64mm）に対して、デバイスの物理レンズやCG空間内の左右カメラの間隔（例: 60mmや68mm）がズレていると、脳は空間全体の「スケール（大きさ）」を誤認します。世界が小さく見える「ミニチュア効果（微視症）」や、逆に巨大に見える「巨視症」が発生し、目頭を強く引っ張られるような眼精疲労を引き起こします。

- デバイスごとのアプローチ**:**

  - **Meta Quest 3 / Quest 3S:**

    本体下部のダイヤルなどを用いて、ユーザーが自身のIPDに合わせて物理的にレンズの間隔を無段階（または段階的）に手動調整するシステムを採用しています。

  - **Apple Vision Pro:**

    デバイス内部に搭載されたアイトラッキング（視線追跡）カメラが、ユーザーの瞳孔の位置をミリ単位で自動計測。内蔵されたモーターがレンズの間隔を自動で物理駆動させて最適化します。さらに、OS（visionOS）レベルでレンダリングされる左右のオフアキシス投影マトリクスも動的に微調整され、ユーザーごとに完璧な空間スケールを担保します。

② 空間コンピューティングにおける高効率立体視フォーマット: MV-HEVC

高解像度（片目4Kクラス）の立体映像をHMDへスムーズに配信・再生するためには、従来のサイド・バイ・サイド（SBS）のような荒い動画フォーマットからの脱却が必要でした。そこで現代の業界標準となっているのが **MV-HEVC**（**Multiview Video Coding**）です。

- 仕組みとメリット：
  MV-HEVCは、ベースとなる「左目用の2D映像」に対し、「右目用の映像は、左目用からの『視差（**Disparity**）の差分データ』のみを記録する」という高度な圧縮アルゴリズムを持っています。
- 圧倒的なデータ軽量化：
  左右の映像を完全に2枚分エンコードするトップアンドボトム等に比べ、画質を一切落とすことなく、ファイルサイズを従来の約**2D**映像の**1.3**～**1.4**倍程度（約**30%**～**40%**の微増）に抑えることができます。Apple Vision Proの「空間ビデオ（Spatial Video）」や、主要なXR配信プラットフォームのベースインフラとして広く普及しています。

③ レンダリング負荷の軽減技術（最適化ロジック）

HMDでの立体視は、原理的に「左右2回分のレンダリング（2パス）」を行うため、通常の2Dアプリケーションの2倍のGPU負荷がかかります。HMDではフレームレートの低下（90fps～120fpsの維持失敗）が即座に激しいVR酔いを引き起こすため、開発者は以下の最適化技術を必ず実装する必要があります。

1. シングルパス・ステレオレンダリング（Single Pass Stereo / Multiview）

従来の「左目をレンダリングした後に、右目をレンダリングする」2パス方式ではなく、1回のレンダリング命令（ドローコール）で、GPU内部のシェーダーが左右の視点マトリクスを同時に計算し、1枚のワイドなレンダーターゲット（またはテクスチャ配列）に左右の映像を同時に描き出す技術です。CPUのボトルネックをほぼ半減させることができます。

2. フォービエート・レンダリング（Foveated Rendering / 中心窩レンダリング）

人間の眼は「見つめている中心部分（中心窩）」の解像度は非常に高く認識しますが、周辺視野の解像度は驚くほど低く捉えているという生体特性を利用した技術です。
アイトラッキングカメラと連動し、ユーザーが今まさに見ている視線の中心部のグラフィックだけを超高精細にレンダリングし、それ以外の周辺視野の解像度（ピクセル負荷）を意図的に落とすことで、画質を損なわずに全体のレンダリング負荷を30%~50%以上削減します。

HMD（ヘッドセット）立体視の設計チェックリスト

HMD向けのゲーム、アプリ、3D映像（空間ビデオ）を開発・制作する際の、安全なデプスバジェットの基準です。

設計項目	許容・推奨される限界値の目安	破綻した場合のリスク・症状	解決するためのコア技術

最短被写体距離	カメラから**50cm～80cm**以上離す	激しい寄り目によ□VC（不快感）、ステレオ破綻	ニア・クリップ面のクランプ、Baselineの動的縮小
目標ﾌﾚｰﾑﾚｰﾄ	**90fps ～ 120fps**を常時完全維持	画面の引っ掛かりによる致命的な*R*酔い	シングルパス・マルチビュー、動的解像度スケーリング

周辺部UI配置	ゼロ視差面、または視野の中心から「30度以内」	視線移動による激しい目の疲れ、歪みの知覚	空間配置型UI、深度追従UI（Depth-matching UI）

現場の全レイヤー（初心者・プロ・開発者）への実装アドバイス

- 初心者クリエイターへ（空間ビデオ撮影）：
  iPhoneやVision Proで3D立体映像（空間ビデオ）を撮影する際は、「絶対にカメラを素早く動かさない（パン・チルト・手ブレを無くす）」ことを徹底してください。大画面スクリーン以上に、HMDでの不意の画面の揺れは、視聴者の三半規管を一瞬で破壊し、強烈な吐き気を引き起こします。撮影は三脚やジンバルで固定するのが鉄則です。
- プロのVFX・コンポジターへ:
  HMD向けの3Dコンテンツでは、実写とCGの境界線が「ドット単位」でシビアに露呈します。特に、キャラクターの輪郭のミスマッチ（フリンジやアルファのズレ）は、HMDで見ると境界線が空間から浮き上がってジャギジャギとした立体矛盾として見えてしまうため、エッジのカラーマッチングとロトスコープの精度を映画館向け以上に厳しく管理してください。
- システム開発者へ（XRエンジンの実装）：
  OpenXR規格に準拠した開発を行う際

は、**XR_EXT_eye_gaze_interaction**（アイトラッキング）拡張モジュールを初期段階からパイプラインに組み込み、UIの選択時だけでなく、先述した「フォービエート・レンダリング」および「コンバージェンス（輻輳点）の動的調整」のトリガーとして視線データをフル活用する設計を行ってください。これにより、ハードウェアの性能を限界まで引き出した、VACのない究極のイマーシブ・アプリケーションが完成します。

HMD（ヘッドマウントディスプレイ）における「3D空間の重ね合わせ方」は、VR・AR・MRの各デバイスの光学的（オプティクス）構造によって、脳への視差負荷や設計思想が根本から異なります。 [1]

① VR（Virtual Reality）における立体視

- 光学構造：
  完全密閉型。現実の光を100%遮断し、目の前にある左右2枚のディスプレイの映像のみをレンズで拡大して見せます。
- 立体視の性質：
  背景からキャラクターまで、空間内のすべての**Z**深度（奥から手前まで）をデジタル（**3D CG**や実写**VR**動画）で完全制御できます。そのため、第1章で解説した「1/30ルール」や「デプスバジェット」の計算に完全にハメ込むことができ、最も破綻のない理想的な立体視を設計しやすい環境です。 [1, 2]

② AR（Augmented Reality）における立体視（光学シースルー型）

- 光学構造：
  眼鏡型（XREAL Airや Microsoft HoloLens 2など）。現実の景色（生光）がガラスを透過して直接目に入り、そこにハーフミラーや回折光導波路（ウェーブガイド）を用いて「デジタル光」を網膜に重ね合わせます。
- 立体視の性質：
  「ピントの調節（**Accommodation**）の基準」が常に現実の物体側にあるという過酷な制約があります。
  現実の2m先にある壁を見ている時、眼のピント（調節）は2m先に合っています。ここにデジタルで50cm手前に飛び出す3Dオブジェクトを表示すると、脳は「寄り目（輻輳）は50cm手前、ピント（調節）は2m先」という極めて激しいVAC（輻輳・調節矛盾）を起こします。そのため、ARの立体視設計では、「現実の物体のデプス（**3D**スキャンによるオクルージョン）をリアルタイムに計算し、デジタルアセットを現実の距離に完全に一致させて配置する（飛び出しを極力作らない）」という、現実準拠の厳しい制限（クランプ）が必要になります。

③ MR（Mixed Reality）における立体視（ビデオシースルー型）

- 光学構造：
  Apple Vision Proや Meta Quest 3など、現代の空間コンピューティングの主流です。密閉型HMDでありながら、フロントに搭載された超高解像度・低遅延ステレオカメラで現実を撮影し、それをディスプレイにL/R映像（パススルー）として表示した上でデジタルCGを合成します [4-2]。[1, 2]
- 立体視の性質：

AR□□□

□□□

- 立体視技術のポイント：

  商業施設、駅、映画館、観光地（例：八ヶ岳の常設エデュテインメントVR『AnimaLOOK!!』など）の「空間そのものを物語の舞台に変える」LBEコンテンツの流通を目的としています。

  デバイスごとに異なるIPD（瞳孔間距離）調整や、多人数同時接続時のレンダリング負荷（シングルパス・ステレオ）を共通プラットフォーム化（民主化）し、日本国内の商業施設における3D体験のスケールを主導しています。 [1, 2, 3]

④ Apple Immersive Video（アップル・イマーシブ・ビデオ）──【次世代シアターの標準】

- 概要・実績：

  Apple Vision Pro向けに配信されている、視野角180度・片目8K解像度を誇る最高峰の3D立体VR動画フォーマットです。

- 立体視技術のポイント：

  Blackmagic Design社が開発した世界初の専用2眼180度カメラ「URSA Cine Immersive」などの機材により、ライブスポーツ（MLBやMLSの試合）や自然科学ドキュメンタリーがNative 3Dで記録されています。

  配信においては、第4章2節で解説した「静的フォービエーション（**Static Foveation**）」技術が使われています。視聴者が自然に注視する画面中央部のピクセル密度を最大（40 PPD）に維持し、周辺部の解像度を段階的に劣化させてメタデータとして配信。Vision Pro側でリアルタイムに歪み補正を行って再生することで、「映画館の最前列を遥かに凌駕する、目の前に本当に選手や大自然が実在する」**VAC**フ

□□□

紹介します。

現在、XRを活用したLBEは、「個人で楽しむデバイス」から「特定のリアルな場（Location）に集まり、大人数で熱狂を共有するメディア」へと完全にシフトしています。 [1]

① 韓国のアーティスト事例：映画館シアター×HMDの融合（HYBEの挑戦）

K-POPを筆頭とする韓国のエンターテインメント産業は、HMDを用いた立体視コンサートの分野で世界をリードしています。なかでもBTSやLE SSERAFIMらを擁する「HYBE」グループの動向は、次世代シアターの標準を示す最高の実例です。[1, 2]

1. LE SSERAFIM VR CONCERT: INVITATION（2026年）

- 概要・実績：
  HYBE JAPANが主催し、世界最高水準のVR制作・流通技術を持つAMAZE（アメイズ）社が制作を担当した、女性アーティスト初となる多国籍同時展開の超大型VRコンサートツアーです。日本国内では「109シネマズプレミアム新宿」や「T・ジョイ梅田」といった映画館が上映拠点（LBE）として活用されました。 [1, 2, 3]
- 立体視技術のポイント（**12K**超高精細ステレオ撮影）：
  体験者は映画館の座席に設置された高解像度HMDを装着して鑑賞します。このコンテンツは実際のアーティストをVR専用の特殊リグで立体撮影しており、「**12K**」という超高精細な実写ステレオ映像でレンダリングされています。

□□□□7.1ch□□□□

た超高精細なゴジラの3Dアセットが、スマートグラス越しに見える現実のビルや空と完璧にオーバーラップ。ARの最大の強みである「自分自身のリアルな視点で見上げる圧倒的な巨体感」を再現し、大気を震わす咆哮や熱線のエフェクトとともに、映画の中に自分が迷い込んだかのような臨場感（運動視差）を提供しています。 [1, 2, 3]

③ 国内の代表事例2: STYLYによる空間レイヤープラットフォームの民主化

日本のXRスタートアップである株式会社STYLY（スタイリー）は、特定のスポットに都市スケールの3D立体空間を配信する「空間レイヤープラットフォーム」として、LBEのインフラを牽引しています。 [1]

1. 多彩なLBEプロジェクトとオープンソース化

- 実績：
  STYLYは、東京ドームシティの宇宙体感施設に導入された未来の宇宙旅行を体験するVR『THE MOON CRUISE』や、虎ノ門「TOKYO NODE」での『攻殻機動隊展』におけるスマートグラス体験『電脳VISION』など、数多くの商用LBEをプロデュースしてきました。 [1]
- 立体視技術のポイント（LBE開発モジュールの共通化）：
  2025年末、STYLYはLBE向けコンテンツを制作する上で不可欠な、Unity用のSDK（ソフトウェア開発キット）群をオープンソース（MITライセンス等）で公開しました。
  LBEの現場では、天井高、通信環境、ハードウェアの多様化、そして「多人数を同期させた時のステレオレンダリング負荷」が常に開発の障壁（ボト

ルネック）となっていました。STYLYが提供する共通ネットワークモジュールや配信基盤を利用することで、開発者は「特定の場所に最適化された、多人数同期型の**3D**立体視アプリケーション（シングルパス・ステレオ対応）」を劇的に低いコストで開発・実装できるようになり、国内の商業施設における3D体験の流通を急加速させています [4-2]。 [1, 2, 3]

国内外の最先端LBE・XR立体視比較（ハンドブック掲載用）

プロジェクト名	国際／国内	採用デバイス（方式）	立体視の特徴・コア技術	主な実績・体験の価値
HYBE / AMAZE LE SSERAFIM VR	韓国／日本	映画館座席＋ HMD（完全VR空間）	**12K**実写ステレオ撮影 × 7.1chサラウンド 手を用いたライトスティック等のインタラクション	109シネマズ等の劇場を「最前列以上の近さ」で体験できる次世代シアターへ変革

東京ドーム × 白組 ゴジラ**AR**	日本（国内）	常設・屋外型スマートグラス（光学シースルーAR）	実物大（全長**100m**）のゴジラを、屋外の実際の東京ドームのパース（見上げ角）に合わせて高精度オーバーラップ	複数人で同時にゴジラの熱線を「自分の眼で見上げる」熱狂体験の常設化
STYLY **LBE**インフラプラットフォーム	日本（国内）	スマホARから各種HMDまでマルチ対応	場所に紐づくデプス・ストーリー配信。**LBE**向け**Unity**用**SDK**のオープンソース化	虎ノ門や東京ドームでのVR/AR展示。企業オフィスをブランド体験メディアへ進化させる試み

ハンドブックまとめ

「現代の立体視設計（デプスバジェット）は、もはや動画のピクセル数（**Disparity**）を調整するだけに留まりません。**HYBE**のように映画館の音響と**12K**の実写**VR**を同期させる技術、あるいは白組や**STYLY**のように『現実の建造物の巨大なスケール感』にデジタルアセットの視差を完璧に調和させる空間設計力こそが、これからの**XR**クリエイター・開発者に求められる必須要件になってきます。**LBE**にお

□□**3D**□□□

- ライトフィールドと**LED**ディスプレイパネル

  Looking Glass に代表される「ライトフィールド技術」や「ボリュメトリックビデオ」の進化により、私たちは今、「メガネをかけずに、複数人で同時に、本物の光の奥行きを肉眼で知覚できる」という、ホイートストンが夢見た立体視の究極のゴールへと進化を遂げようとしています。さらに映画館のプロジェクターに代わり、自発光型3D LEDが台頭。従来の3Dの最大の弱点であった「画面の暗さ」を克服し、圧倒的な臨場感を提供しています。このことは将来、映画館においてメガネをかけずに3D立体映画が見れる可能性を示しています。

5-1: ライトフィールド技術とボリュメトリックビデオ

次世代のイマーシブコンテンツを牽引する2つのコア技術が、「ボリュメトリックビデオ（**Volumetric Video / 3D**空間キャプチャ）」と、光の進む方向を再現する「ライトフィールド（**Light Field**）技術」です。

① ボリュメトリックビデオ（**Volumetric Video**）の衝撃

- 技術の定義**:**

  被写体を2台のステレオカメラで「撮影」するのではなく、グリーンバックスタジオの周囲に配置された数十台～数百台のカメラやLiDARセンサーを用いて、被写体の3次元的な形状（メッシュデータや点群/Point Cloud）と表面のテクスチャを「空間ごと**3D**デジタルデータとして丸ごとキャプチャ（記録）」する技術です。これにより環境の形状モデル、デプス(奥行き)情報と物の色、明るさ情報を同時に取得することが出来ます。
- 立体視における革命**:**

ボリュメトリックビデオには、従来の3D映像にあった「L/R（左右）」という概念が最初から存在しません。記録されたデータは「完全な3Dオブジェクト」そのものであるため、視聴者は自分の好きな角度、好きな距離（自由視点）から被写体を立体的に眺めることができます。

- 最新の進化（**3D**ガウシアン・スプラッティング）**：**
  近年では、AI技術を活用した「3D Gaussian Splatting（3DGS）」などの単眼・多視点画像からの3D空間再構成アルゴリズムが急速に進化しています。これにより、従来のボリュメトリックキャプチャのような大規模な専用スタジオを用いなくても、実写さながらのフォトリアルな立体空間やキャラクターを、低コストかつ高精細にキャプチャ・生成することが可能になり、実用化のハードルが劇的に下がっています。

② ライトフィールド（**Light Field**）技術: 究極の肉眼立体視

- 技術の定義**：**
  空間を飛び交う無数の「光の線（光線）」の、位置と進む「方向」のすべてを記録・再現する技術です。第4章で解説したLooking Glassなどのディスプレイは、このライトフィールド技術の先駆的な商用製品です。
- **VAC**（輻輳・調節矛盾）の完全な解決**：**
  従来の3D映像における最大の技術的弱点は、眼のピント（調節）が画面表面に固定されたまま視線（輻輳）だけが手前に誘導される、脳のバグ（VAC）でした。
  しかし、完璧なライトフィールドディスプレイが実現すると、オブジェクトから発せられるリアルな「光線（波面）」そのものが網膜に届くため、「現実世界と全く同じように、手前の立体オブジェクトを見ると背景が自然にボ

□□□

5-2: 空間コンピューティングの展望

1. ディスプレイ進化: Disparity（両眼視差）の極限の滑らかさへ

従来の3Dディスプレイは画素が粗く、左右の目の絵が混ざる「クロストーク（映像の二重映り）」が目の疲労の原因でした。 [1]

- 超高精細マイクロ**OLED**: Apple Vision Proは両眼で**2,300**万ピクセル（片目あたり4Kテレビ以上）という驚異的な画素密度を持っています。最新のM5チップ搭載モデルではさらに描画ピクセル数が向上し、リフレッシュレートも**120Hz**に引き上げられました。 [1, 2, 3]
- もたらす効果： ドットの境目が完全に消えることで、脳が認識する網膜上のズレ（**Disparity**）が現実世界と全く同じ滑らかさになります。 [1]

2. アイトラッキングによる「調節・輻輳（ふくそう）矛盾」の解消

人間が3Dメガネの映像で頭痛を起こす最大の理由は、「ピントを合わせる位置（スクリーン面）」と「両目の角度を合わせる位置（映像の奥行き）」がズレる調節・輻輳矛盾（**VAC**）にありました。 [1]

- 視線計測の連動： デバイス内部の赤外線カメラが「ユーザーが今、空間のどこ（何センチ奥）を見ているか」をリアルタイムで追跡（アイトラッキング）します。 [1]
- もたらす効果： 見ている場所に合わせて、映像のボケ味（被写界深度）や

□□□

□□□

2. インゲーム（空間内）オーサリングの主流化

これまでは、PCの平らなモニター（2D）を見ながら、マウスとキーボードで3Dオブジェクトの奥行きを調整するという矛盾した作業を行っていました。

- **VR/MR**内での直接編集： クリエイター自身がデバイスを装着し、構築中の3D空間に没入した状態で、手のリモコンやジェスチャーを使ってオブジェクトを配置・微調整するワークフローが標準化されています。
- ワークフローの変化： ベルナール・メンディブルの時代には「撮影して上映するまでわからなかった」立体感やスケール感の破綻（サイズが大きすぎて目が疲れるなど）を、制作中の空間内で「人間の目で直接見ながら」その場で修正できるようになり、試行錯誤の時間が圧倒的に短縮されました。

3. デバイスごとの「アセット（素材）最適化」の自動化

Apple Vision Proのような超高解像度（片目4K以上）デバイスの登場により、3Dモデルには実物と見紛うほどのクオリティが求められる一方、スタンドアロン（本体のみ）で動かすための軽量化も必須となっています。

- **AI**とプロシージャルによる最適化： 1つの高精細な3Dマスターデータを作れば、ポリゴン数を自動で削減するツール（LODの自動生成）や、AIによるテクスチャ圧縮が開発環境に組み込まれています。
- ワークフローの変化： クリエイターは、ハイエンドな空間コンピュータ用、普及型のVRゴーグル用、あるいはスマートフォン用といった「デバイスごとの出し分け」に手作業で時間を取られることがなくなりました。

4. 「枠（フレーム）」の概念がないUI/UXデザイン

従来の映像制作は「画面の端（フレーム）」を基準に構図を決め、UI（メニュー画面など）を配置していました。

- 空間に浮かぶ**UI：** 空間コンピューティングでは、ユーザーの視線（アイトラッキング）や、現実の壁・机の物理的な位置を認識してUIが出現します。
- ワークフローの変化： クリエイターは「カメラの画角」に縛られるデザインを捨て、ユーザーを中心に置いた**360**度すべての空間設計（環境デザイン）を行う必要があり、映画監督の視点と建築家の視点の双方を融合させたような新しいスキルセットが求められています。

まとめ：クリエイターは「数学的な視差計算」から解放された

かつてメンディブルが著書で説いた「3%ルール」や「スクリーン上の視差計算」といった幾何学的な苦労は、現在のUnityやUnreal Engineといったゲームエンジン、そしてスマートなXRデバイスのOSによってバックグラウンドで自動処理されるようになりました。

現代のクリエイターに求められているのは、計算式の正しさではなく、「その**3D**空間にいかに自然で、驚きのある体験（ストーリーやインタラクション）を配置できるか」という純粋なクリエイティビティへとシフトしています。

Appleと**Unity**が共同開発した「**PolySpatial**」テクノロジー

Unity PolySpatialは、Unityで制作した3Dコンテンツ

を、Apple Vision ProのOSである「visionOS」向けに最適化して動かすための専用の連携テクノロジー（ミドルウェア）です。 [1, 2]

一言で言えば、「これまで世界中のクリエイターがUnityで作ってきた3Dゲームやアセットの資産を、Appleの『空間コンピューティング』の世界へスムーズに移植・融合させるための架け橋」です。 [1, 2]

このテクノロジーが画期的である理由と、その仕組みを3つのポイントで詳しく解説します。

1. 最大の特徴：「共有モード（Shared Mode）」の実現

これまでのVRゴーグル（Meta Questなど）のアプリは、起動すると「そのアプリの世界」が視界をすべて乗っ取る形（独占モード）が基本でした。

しかし、Apple Vision Proは、現実世界（パススルー）の中に、Safariのブラウザ、映画の画面、3Dのキャラクターなど、複数のアプリを同時に並べて浮かべる「マルチタスク空間」を前提としています。 [1]

- PolySpatialを使うと、Unityで作った3Dキャラクターやオブジェクトを、Apple純正のアプリとまったく同じように、ユーザーの部屋の空間に「1つのウィンドウ（ボリューム）」として同居・並列表示させることができます。 [1, 2]

2. 仕組み：裏側で何が起きているのか？（翻訳エンジン）

Unityは独自の描画システム（レンダラー）を持っていますが、Apple Vision ProはApple独自の「RealityKit」というシステムで空

間を統合管理しています。ここでPolySpatialが機能します。

- マテリアルとシェーダーの自動変換：
  クリエイターがUnity上で設定した3Dオブジェクトの見た目（質感、色、形状など）を、PolySpatialがリアルタイムに**Apple**の「**RealityKit**」が理解できるデータ形式へと変換します。[1]
- 目と手のトラッキングのシームレスな統合：
  Apple Vision Proの最大の特徴である「視線で選択し、指をパチンと合わせて決定する（視線・ハンドトラッキング）」という操作を、Unityの従来の入力システムに自動でマッピングしてくれます。クリエイターは、Apple専用の複雑なジェスチャーコードをゼロから書き直す必要がありません。 [1, 2]

3. クリエイターを感動させた「Play to Device」機能

これまでXR（VR/AR）の開発は、「PCでプログラムを書く」→「数分かけてビルド（書き出し）する」→「ゴーグルに転送して被る」という、非常に時間のかかる往復作業が必要でした。

- PolySpatialには「Play to Device」というリアルタイムプレビュー機能が搭載されています。
- Mac上のUnityエディタで「再生」ボタンを押すと、ビルド時間を挟むことなく、目の前の**Apple Vision Pro**（またはシミュレータ）の空間に一瞬で**3D**オブジェクトが出現し、その場で動きや立体感（Disparity）をチェックできます。 [1, 2]

クリエイター側の「注意点（制限）」

非常に強力なPolySpatialですが、何でも魔法のように変換できるわけではなく、いくつかの制限があります。 [1]

- 高度なカスタムシェーダー（視覚効果）の制限： Unityでゴリゴリに自作した特殊なエフェクト用プログラムなどは、Appleのシステム（RealityKit）側で再現できない場合があり、Unityの「シェーダーグラフ」という標準機能に準拠させる必要があります。[1]
- ライセンス制限： PolySpatialを利用してvisionOSアプリをビルド・配信するには、無料版のUnity Personalではなく、**Unity Pro**以上の商用ライセンスが必要となります。[1]

結論として

PolySpatialの登場によって、「**Apple**の美しい空間シミュレーション環境（**RealityKit**）」と、「世界中で使われている圧倒的な**3D**開発ツール（**Unity**）」の美味しいところが完全に融合しました。 [1, 2]

3D立体視の歴史から見ても、クリエイターが「視差の破綻や計算」に悩まされることなく、「**Apple**の空間に自分の作った**3D**アセットをどう綺麗に浮かべるか」というデザインに100%集中できる環境が整ったと言えます。 [1]

もしご興味があれば、PolySpatialを使った具体的なコンテンツの事例（ゲーム、アウディなどの産業利用など）や、Unreal Engineとのアプローチの違

□□□

- **3D**: Blender、Maya、3D [1, 2]
- **MaterialX**: ILM、MaterialX Apple Vision Pro [1]

3. 3DCG**OpenUSD**.usdz

Apple Vision Pro3DCGPixarApple、NVIDIA、Adobe**OpenUSD**.usdz [1]

- **3DCG**: Blender、Autodesk Maya、3ds Max、Cinema 4D3DCG.usdz
- : 3DOpenUSDWebSafariApple Vision Pro1 [1, 2]

□□□Apple Vision Pro□□□3D□□□

□□□

従来の「L/Rの2画面をメガネで分離して見る3D」から、「空間そのものをデジタル化・再現する立体（イマーシブ）技術」へのシフトが現在の展望の核心です。

1. 空間コンピューティング（Spatial Computing）への完全統合

- 内容： Apple Vision Proなどの空間コンピュータの普及により、3D立体映像は「四角いスクリーンに閉じ込められたコンテンツ」から、「自分の部屋の空間に実在するオブジェクト」へと進化します。
- 技術： 従来のサイド・バイ・サイド（SBS）形式から、Appleが採用する **MV-HEVC**（**Multiview Video Coding**）などの、高効率な立体映像フォーマットが業界標準になっていきます。

2. ボリュメトリックビデオ（Volumetric Video）と3Dガウシアン・スプラッティング

- 内容： 2つの視点（固定のL/R）から撮影するのではなく、数十台のカメラやLiDARを用いて、被写体を「3次元の立体3Dデータ」として丸ごとキャプチャする技術です。
- 進化： 視聴者は、映像の中を自分の好きな角度や位置（自由視点）から立体として眺めることができるようになります。近年ではAIを用いた「3D Gaussian Splatting」技術により、実写さながらの超高精細な空間キャプチャがリアルタイムで可能になりつつあります。

3. 裸眼立体ディスプレイとライトフィールド（Light Field）

- □□: □□□□

□□□

□□□



□□□□3D□□□□

- **Active Shutter Glasses**（アクティブシャッター方式）【第4章】
  - 左右の映像をフル解像度で交互に超高速出力し、それに同期して液晶レンズを物理的に開閉する3Dメガネ方式（時分割方式）。代表規格にXPANDなど。

- **Anamorphic Projection**（アナモルフィック・プロジェクション）【第4章】
  - 特定の視点から見たときにだけ正しい立体感に見えるよう、極端なパースを計算して描く錯視技法。街頭の巨大裸眼3D LEDサイネージ（新宿の猫など）の基本理論。

- **Asymmetric Perspective Projection**（非対象投影マトリクス）【第2章】
  - バーチャルカメラリグで歪みのない立体視を実現するため、左右のカメラの視野（錐台）を内側に非対称にシフトさせるCG幾何学の計算手法（Off-Axis Parallel）。

【B】

- **Baseline / Interaxial**（基線長 / レンズ間隔）【第2章】
  - 左右の2台のカメラレンズの中心間の物理的な距離。立体感の幅（強弱）を決定する最重要パラメータ。

- **Beam Splitter Rig**（ハーフミラー式リグ）【第2章】
  - 45度に配置したハーフミラーを使用し、2台のカメラの視点を光学的に重ね合わせるリグ。物理的な制約を超えてレンズ間隔を0mmまで狭められるため、近接・アップ撮影に必須。

【C】

- **Convergence**（輻輳 / ふくそう）【第1章】
  - 物を見る際に、左右の眼球を内側に向ける（寄り目にする）運動。脳はその内直筋の緊張度から距離を測る。両眼視差の根幹。

- **Convergence Point**（輻輳点 / ふくそうてん）【第2章】
  - 左右のカメラの光軸（または視線）が交わる仮想的なポイント。この位置にある被写体が「ゼロ視差面（スクリーン面）」上に配置される。

- **Crosstalk / Ghosting**（クロストーク / ゴースト）【第4章】
  - ディスプレイの分離性能や首の傾きにより、左目用の映像が右目に（あるいはその逆）透けて見えてしまい、映像が二重にブレる現象。

【D】

- **Depth Budget**（深度予算 / デプスバジェット）【第2章・第3章】
  - 人間の眼の許容限界（一般に視差角2度以内、画面幅の約2%〜3%）に基づき、シーンやカット内で「手前から奥までに割り振る最大のピクセルズレ量」をあらかじめ制限・管理する設計思想。

- **Disparity**（ディスパリティ / デジタル視差）【第1章・第3章】
  - L/R（左右）のデジタル画像データを重ね合わせたときの、画素（ピクセル）単位における位置のズレ量。VFXの合成や2D-3D変換の基準数値。

- **Disparity Map / Depth Map**（ディスパリティマップ / 深度マップ）【第3章】
  - 画面全体の奥行き情報を白（手前）から黒（奥）の256階調のグレースケール画像として可視化した、ポストプロおよびAI処理用のデータ。

- **Divergence**（開散 / かいさん）【第1章・第2章】
  - 左右の眼球が外側を向いてしまう状態。左右の正のパララックスが瞳孔間距離（約65mm）を超えると発生し、脳が立体を融合できず激しい痛みを伴う（ステレオ破綻）。

【F】

- **Foveated Rendering**（フォービエート・レンダリング）【第4章】
  - HMDにおいて、アイトラッキングで検出した「ユーザーの視線の中心部」だけを高解像度で描き、周辺視野の解像度を落とすことでGPU負荷を大幅に削減する最適化技術。

- **Frame Sequential**（フレームシーケンシャル方式）【第4章】
  - 時分割方式の別名。1枚のディスプレイパネルの全画素を使って、L画像とR画像を交互に時系列で出力する表示アルゴリズム。

【G】

- **Genlock**（ゲンロック / 外部同期信号）【第2章】
  - 実写の3D撮影において、左右2台のカメラのシャッタータイミングを1フレーム、あるいはシャッターの位相レベルで完全に一致させるために供給する同期システム。

【H】

- **HIT**（**Horizontal Image Translation /** 水平画像シフト）【第2章・第3章】
    - 平行法で撮影されたL/Rの画像を、ポストプロ段階で水平方向にスライドさせることで、ゼロ視差面（スクリーン面）の位置を後から任意に変更・調整するワークフロー。

【I】

- **Inpainting**（インペインティング / 画素補完）【第3章】
    - 2D-3D変換において、手前のオブジェクトをシフトした際に露出する「本来背景に隠れて情報がない空白領域（オクルージョン）」を、AIやクローンツールで自然に肉付け・自動生成するVFX技術。

- **IPD**（**Interpupillary Distance /** 瞳孔間距離）【第1章・第4章】
    - 人間の左右の瞳の中心間の物理的な距離（成人の平均は約63mm〜65mm）。HMDのレンズやCGの仮想カメラ間隔を設定する際の絶対的な基準値。

【L】

- **LBE**（**Location-Based Entertainment**）【第4章】
    - テーマパーク、アミューズメント施設、VRシアターなど、特定の物理的な「場所」に大人数が集まって体験を共有するイマーシブ・エンターテインメントの総称。

- **Light Field**（ライトフィールド / 光線再生技術）【第5章】
    - 空間を飛び交う光の位置だけでなく「進む方向」まで完全に再現する次世代技術。Looking Glassなどに採用され、メガネなしで運動視差を含めた完全な肉眼立体視を可能にする。

【M】

- **MV-HEVC**（**Multiview Video Coding**）【第4章】
    - Apple Vision Proなどが採用する次世代の立体映像圧縮フォーマット。左目用の2D映像に対し、右目用は「左目からの差分データ」のみを記録するため、データ量を劇的に軽量化できる。

【N】

- **Negative Parallax**（負のパララックス / 交差視差）【第1章】
  - 左右の映像が画面上で交差してズレている状態。視線がスクリーンの手前で交わる（強い輻輳）ため、被写体がスクリーンの手前に飛び出しているように知覚される。

【O】

- **Occlusion**（オクルージョン / 隠蔽領域）【第3章】
  - 手前のオブジェクトによって奥の背景が隠されている状態、または領域。2D-3D変換やARの合成において立体矛盾を起こさないための最難関処理。

- **Off-Axis Parallel**（オフアキシス平行法）【第2章】
  - 3D CG空間でカメラを平行に保ったまま、投影マトリクスを非対称に変形してゼロ視差面を作る手法。台形歪みや垂直視差を一切発生させないCG・ゲームエンジンの世界標準。

- **Overscan**（オーバースキャン）【第3章】
  - ポストプロでのHIT（水平画像シフト）による黒い隙間の発生を見越して、撮影・レンダリング時にあらかじめ数%広めの

□□□

【S】

- **Side-by-Side Rig**（平行式リグ）【第2章】
  - 2台のカメラを水平に横一列に並べるシンプルなリグ。光量の損失がないため遠景やドローン撮影に最適だが、カメラボディの幅に制限されるため、3m以内の近接撮影（アップ）が幾何学的に不可能。

- **Spatial Computing**（空間コンピューティング）【はじめに・第5章】
  - コンピューティングを2Dのスクリーン（PCやスマホ）から解放し、3次元の物理空間そのものをデジタルインターフェースとして統合・知覚する次世代の技術パラダイム。

- **Stereo Matching**（ステレオマッチング）【第3章】
  - 左右の画像データをコンピュータアルゴリズムで解析し、共通する同一の被写体（特徴点）を自動検出・ペアリングして視差ベクターを生成する技術。

【T】

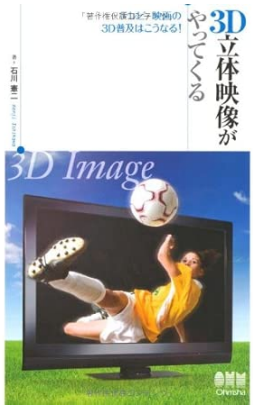
- **Toed-In Setting**（交差法 / 内振り配置）【第2章】
  - 左右のカメラを内側に傾けて特定の被写体で光軸を交差させる

□□□

□W□

- **Window Violation**□□□

3D□□□







よくわかるS3D映像制作 -実例から学ぶ立体視の作り方- 単行本 — 2011/4/22
宮島英豪 (著)

3D映像制作 -スクリプトからスクリーンまで、立体デジタルシネマの作り方- 単行本 — 2009/12/26 Bernard Mendiburu (著)

Ray Zone
『Stereoscopic Cinema』や『The Origins of 3-D Film』

ベルナール・メンディブル著
『3D映画制作：脚本からスクリーンまでの立体デジタルシネマ』（メンディブル、2012年）

3D　コンテンツを忘れずに、「フェルジャヴィトット」映画

ピーター・ジャクソンの「ホビットの冒険」

〈了〉

©2026 Immersive Content Society