

プロジェクト進捗報告1 計画部門



Contents

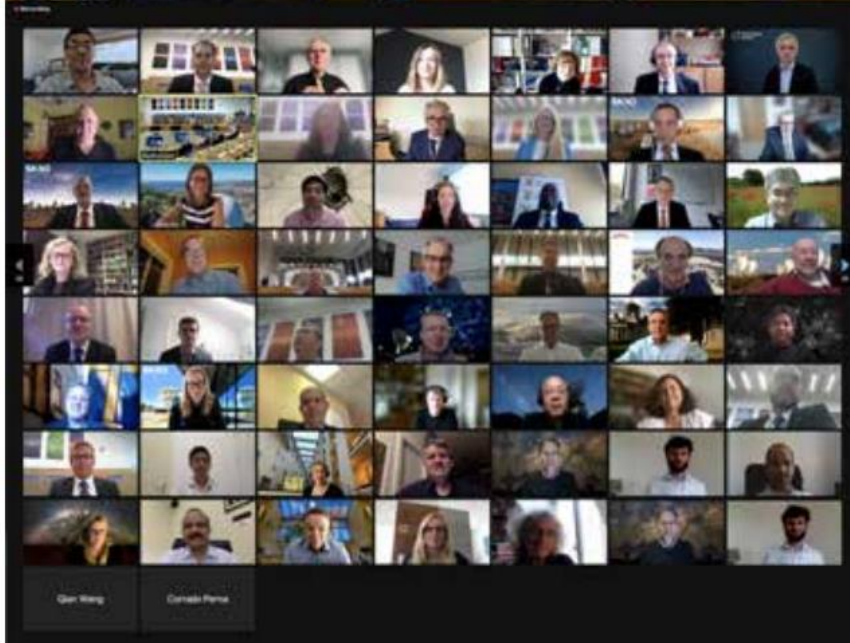
1. SKA計画全体の進捗
2. 国立天文台SKA1検討Gの状況
3. 今後の方針とまとめ

小林秀行

NAOJ SKA1 STUDY GROUP
国立天文台SKA1検討グループ

1. SKA計画全体の進捗

SKA1 建設開始(2021年7月1日)



■2021年6月24日のSKAカウンセシルで承認

■メンバー国

- ・ オーストラリア・南アフリカ・イギリス・ポルトガル・中国・オランダ・イタリア

■オブザーバ

- ・ スペイン・インド・スウェーデン・スイス・フランス・ドイツ・カナダ・韓国・日本



SKA1 建設開始 Council3で承認、7月1日から建設開始

Construction Decision

<https://www.skatelescope.org/news/skao-is-born/>

- A 30-year journey from early concepts
- 20 years of technology exploration
- 12 years since first, tentative steps towards an IGO
- 10 years since SKA Organisation established
- 9 years since the site decision
- 8 years since detailed design process began
- 6 years since IGO negotiations began in Rome, and Science Book published
- 5 years from System PDR
- 2 years from Element CDRs and signing of Convention, first ratification
- 1 year from System CDR & Operations Review
- Ratifications, Entry into Force, SKAO born, Transition.....
-Construction Decision

DG note at Council3

Fact Sheet of SKA1 construction

Facts and figures

SKA-Mid and SKA-Low

Level 1 milestone completion dates

| Key project milestone | Identifier | LOW Telescope | MID Telescope |
|-----------------------------------|------------|---------------------------|---------------------------|
| Start of construction | T0 | 1 st July 2021 | 1 st July 2021 |
| Earliest start of major contracts | C0 | August 2021 | August 2021 |
| Array Assembly 0.5 finish | AA0.5 | Q1 2024 | Q1 2024 |
| Array Assembly 1 finish | AA1 | Q1 2025 | Q1 2025 |
| Array Assembly 2 finish | AA2 | Q1 2026 | Q4 2025 |
| Array Assembly 3 finish | AA3 | Q1 2027 | Q3 2026 |
| Array Assembly 4 finish | AA4 | Q4 2027 | Q2 2027 |
| Operations Readiness Review | ORR | Q1 2028 | Q4 2027 |
| End of Construction | | July 2029 | July 2029 |

Definition of milestones for SKA-Mid telescope

AA0.5: 4-dish array

AA1: 8-dish array

AA2: 64-dish array

AA3: 133-dish array

AA4 / Operations Readiness Review: Full array, including MeerKAT dishes

Definition of milestones for SKA-Low telescope

AA0.5: 6-station array

AA1: 18-station array

AA2: 64-station array

AA3: 256-station array

AA4 / Operations Readiness Review: Full array

SKA1の構成

SKA GHQ 計画の統括



Figure 102. The SKA headquarters building at Jodrell Bank Observatory in the UK.

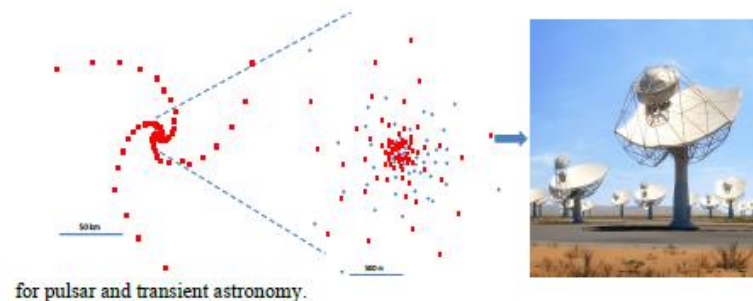
SKA1 LOW



Figure 122 Left: A close-up of a station. Right: overhead view of a station.

50 – 350MHz
512局 (13.1万基)
65km 最大基線長

SKA1 MID



for pulsar and transient astronomy.

Figure 110. Left: The entire Mid array configuration; Middle: the inner 2 x 2 km region of the array (blue dots are the MeerKAT dishes). Right: A simulated view of the inner part of the array.

350MHz-15.4GHz
197局 (133局 + 64局 (MeerKat))
150km 最大基線長

SKAO Is Born – Launch Of International Observatory Signals New Era For Radio Astronomy



Nighttime composite image of the SKA combining all elements in South Africa and Australia. Credit: SKAO, ICRAR, SARAO /
Acknowledgment: The GLEAM view of the centre of the Milky Way, in radio colour. Credit: Natasha Hurley-Walker (Curtin / ICRAR)
and the GLEAM Team.

SKAO Global Headquarters, Jodrell Bank, UK, Thursday 4 February 2021 – The SKA Observatory, a new intergovernmental organisation dedicated to radio astronomy, was launched today following the first meeting of the Observatory's Council.

<https://www.skatelescope.org/news/skao-is-born/>

- 2021年1月15日に国際機関としてのSKA Observatoryの発足
- 発足時のメンバは、オーストラリア・イタリア・オランダ・ポルトガル・南アフリカ・イギリスの6か国
- 2021年2月4日に第1回カウンシルが開催され、**日本はオブザーバ参加(斎藤、小林)**

Construction Plan (CP), Observatory Establishment and Delivery Plan (OEDP)の承認

■第1回カウンスル(2021年2月)で承認

建設費: 1297M€
運用費(2030年まで):
725M€



Construction Proposal: SKA1の建設計画

Observatory Establishment and Delivery Plan: SKA観測所の組織と運用計画(2030年まで)

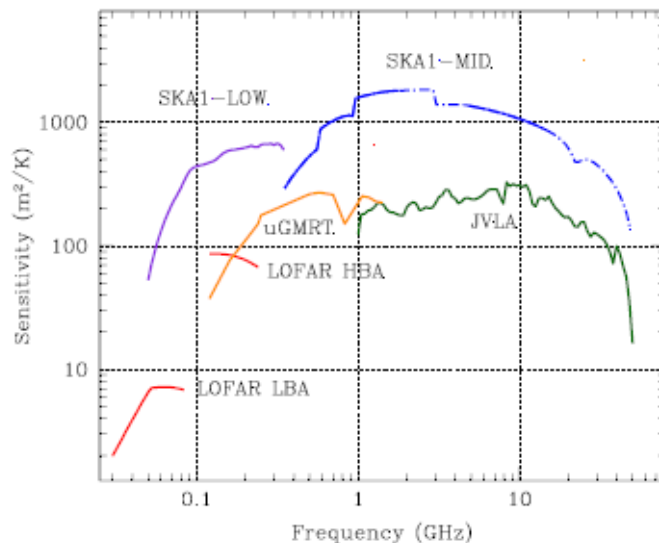
基本仕様 (Baseline designに戻る)

Selected SKA-Low Performance Parameters

| | |
|---------------------------------|-------------------------------|
| Aperture Arrays | |
| Lower Frequency | 50 MHz |
| Upper Frequency | 350 MHz |
| Number of antennas per station | 256 |
| Station Effective Diameter* | 38 m |
| Number of stations | 512 |
| Total physical aperture | $5.8 \times 10^8 \text{ m}^2$ |
| Station Beam Forming | |
| Number of beams | 1 – 384 |
| Max. bandwidth per beam | 300 MHz |
| Max. no. of antennas per beam | 256 |
| Signal Processing System | |
| Max. no. frequency channels | 55296 |
| Standard Frequency Resolution | 5.4 kHz |
| Max. Frequency Resolution | 226 Hz |
| Complex Correlations | 2.9×10^{10} |
| Integration Time | 0.9 s |
| Array Beam Former | |
| Maximum number of beams: | |
| Pulsar Search | 500 |
| Pulsar Timing | 16 |
| VLBI | 4 |
| Max. Total Bandwidth: | |
| Pulsar Search | 118 MHz |
| Pulsar Timing | 300 |
| VLBI | 300 |

Selected SKA-Mid Performance Parameters

| | |
|---------------------------------|--|
| Aperture | 133 x 15-m (equiv. dia.) offset Gregorian reflectors Plus 64 x 13.5-m (equiv. dia.) offset Gregorian reflectors |
| Antenna RF System | Freq. Range (GHz) |
| Band 1 | 0.35 – 1.05 |
| Band 2 | 0.95 – 1.76 |
| Band 5a | 4.60 – 8.50 |
| Band 5b | 8.30 – 15.30 |
| Continuum Sensitivity | |
| SEFD (each antenna, Stokes I) | |
| Band 1 (0.35 – 0.65 GHz) | A_e/T_{sys} 2.1 m^2/K |
| Band 1 (0.65 – 1.05 GHz) | 4.2 m^2/K |
| Band 2 | 10.9 m^2/K |
| Band 5a | 8.8 m^2/K |
| Band 5b | 6.5 m^2/K |
| Signal Processing System | |
| Correlator | |
| Max. no. frequency channels | 65536 |
| Max. Frequency Resolution | 0.21 kHz |
| Standard Frequency Resolution | 13.75 kHz |
| Complex Correlations | 5.0×10^9 |
| Minimum integration Time | 0.14 s |
| Array Beam Former | |
| Maximum number of beams: | |
| Pulsar Search | 1500 |
| Pulsar Timing | 16 |
| VLBI | 4 |
| Total Bandwidth: | |
| Pulsar Search | 300 MHz |
| Pulsar Timing | 20 GHz |
| VLBI | 2 x 2.5 GHz |



予算見積もり総額

| Design Baseline | April 2021 | Provided through annual contributions | | | |
|---|-----------------------------------|---------------------------------------|---|--|----------------|
| Total Cost (€M) (Jun 2021 EC) | Capital cost of construction (€M) | Construction support (€M) | Observatory Operations & Business Enabling Functions (€M) | Observatory Development Programme (€M) | Funding Period |
| | (880 + 237) 1117 | (142+38) 180 | | | |
| 2022 | 1297 | 684 | 41 | | 2021-2030 |

Table 1. SKA Observatory cost summary for the period 2021-2030, construction contingency amounts are the second figures within parentheses.

貢献予定の総額

予算の81.6%
373M€の不足

| Initial Contracts | April 2021 | Provided through annual contributions | | | |
|---|-----------------------------------|---------------------------------------|---|--|----------------|
| Total Cost (€M) (Jun 2021 EC) | Capital cost of construction (€M) | Construction support (€M) | Observatory Operations & Business Enabling Functions (€M) | Observatory Development Programme (€M) | Funding Period |
| | (678 + 192) 870 | (117+33) 150 | | | |
| 1649 | 1020 | 629 | 0 | | 2021-2030 |

Table 2. SKA Observatory initial contracting cost summary for the period 2021-2030



予算貢献割合

| Country | Percent of the contribution |
|--------------|-----------------------------|
| Australia | 13.9 % |
| Italy | 5.9% |
| Netherlands | 1.9% |
| Portugal | 1.5% |
| South Africa | 13.9% |
| UK | 15.3% |
| China | 8.0% |
| Spain | 2.0% |
| Canada | 6.0% |
| India | 4.2% |
| Sweden | 1.3% |
| Switzerland | 1.3% |
| Germany | 1.0% |
| France | 2.4% |
| Japan | 2.0% |
| S.Korea | 1.3% |
| Total | 82.0% |

予算貢献割合(期待値を含む)

- インフレは、年2%まで許容
- **観測時間は最終的な貢献割合によって観測時間の割り振りを行う**
- インフラの貢献は50%でカウントする

マイナーパートナー(<3%)が16か国中9か国→国際協力研究Gの形成が必須

Science Strategy が必要！

- 現在のメンバ国による貢献で、2026年2月まで建設継続
- 80%confidenceレベルで、2029年4月まで建設・運用を継続できる
- Staged Delivery Plan → 予算の用途に応じた柔軟な建設計画、AA2とAA3の間に最終決断

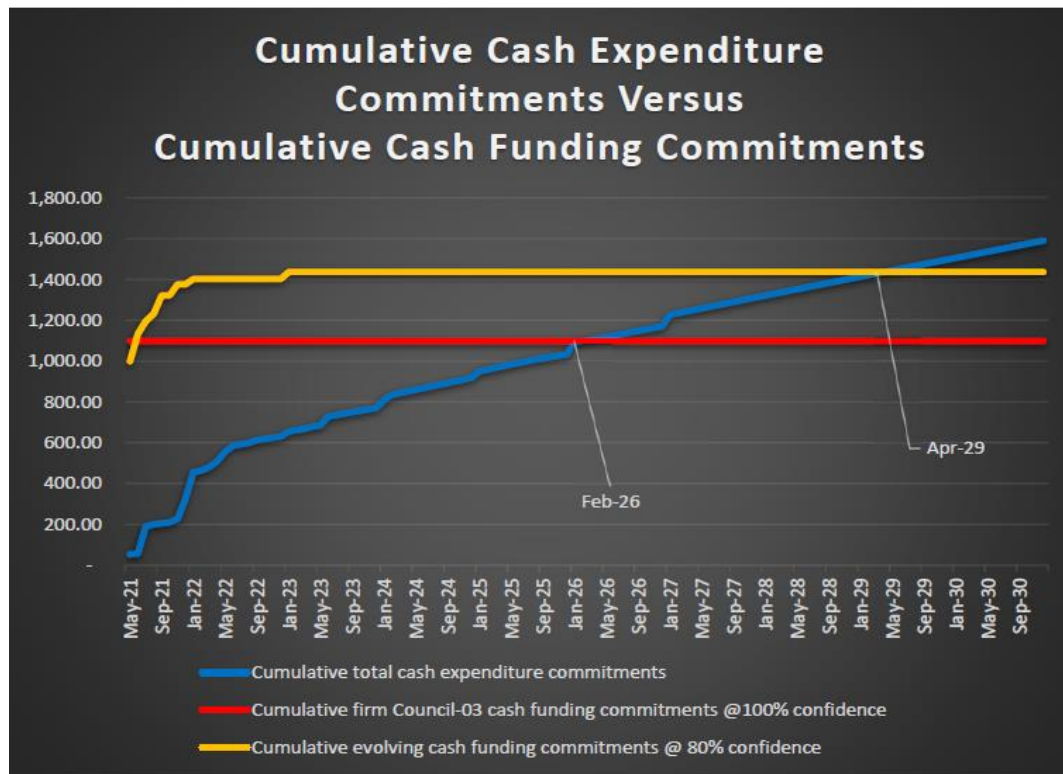
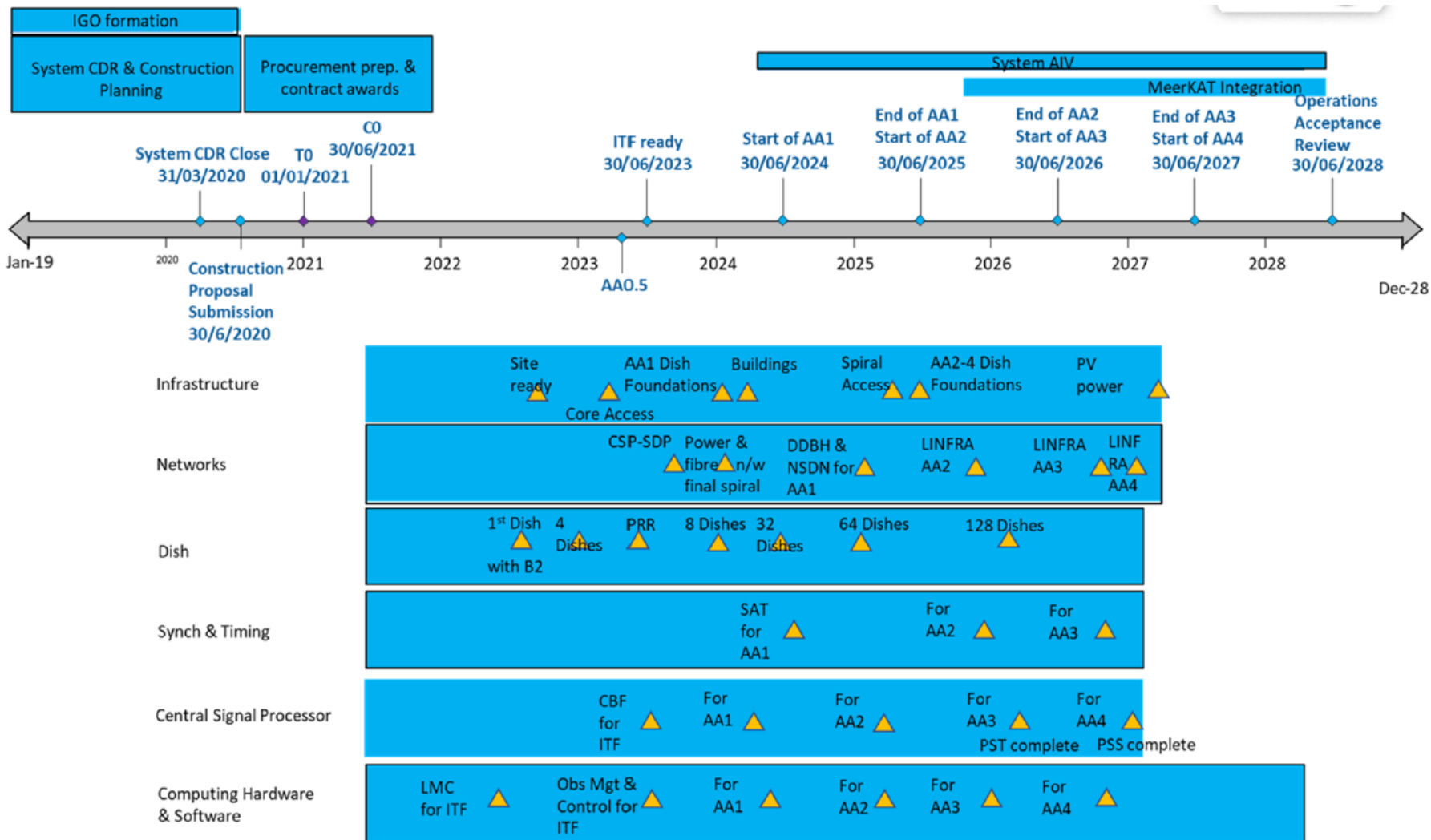


Figure 1 – Cumulative Expenditure Commitments Versus Funding Commitments at Council-03 (100% confidence interval) and Future Months (80% confidence interval)

建設スケジュール



各Phaseにおける観測機能

Table 34: Characteristics of each Array Assembly (AA) milestone and the functionality delivered.

| Telescope | | AA0.5 | AA1 | AA2 | AA3 | AA4 |
|-----------|---------------------------|---------------|---------------------|---------------------------------|--|---|
| LOW | Stations | 8 | 18 | 64 | 256 | 512 |
| | Observing Modes* | Basic imaging | | Pulsar Timing, Dynamic Spectrum | Pulsar Search, Transient Capture | VLBI |
| MID | Dishes | 4 | 8 | 64 | 121 | 197 |
| | Integrated MeerKAT dishes | 0 | 0 | 1 | 8 | 84 |
| | Receiver bands | 1, 2 | 1, 2 | 1, 2 5 (on 32 dishes) | 1, 2 5 (on 64 dishes) | 1, 2, 5 |
| | Observing Modes* | Basic imaging | Basic Pulsar Timing | Pulsar Search | Scaled up capability of existing functions | Dynamic Spectrum, Transient Capture, VLBI |

* The observing modes shown are in addition to those delivered in previous Array Assemblies.

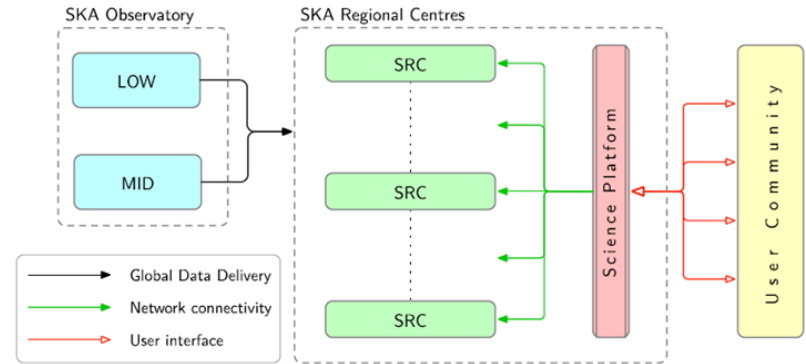
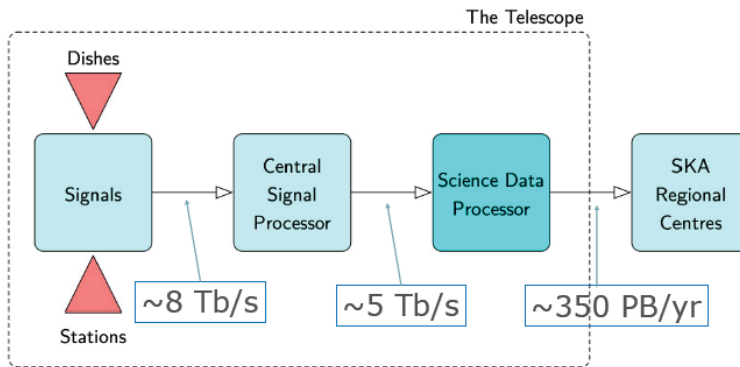
建設の分担案

| Contract | Tier 1 Lead | Status | Other Participating Countries | Contract type |
|------------------------|----------------|--------------------------|--|---------------|
| Low Infrastructure | Australia | Conditional | - | ECCs |
| Low Infrastructure PSC | Australia | Conditional | - | PSC |
| Low Field Node | Italy | Conditional | Australia, United Kingdom | PSC, ECC (SC) |
| Low Digitisation | Italy | Conditional | Australia, India, United Kingdom, Netherlands | PSC, ECC (SC) |
| Low AIV PSC | Australia | Conditional | Japan, Netherlands | PSC |
| Low CSP | Netherlands | Conditional | Australia | ECC |
| Low Clocks | United Kingdom | Conditional | Switzerland | ECC |
| Low Timing | United Kingdom | Conditional | China, Spain | ECC |
| Mid Infrastructure | South Africa | Conditional | - | ECCs |
| Mid Infrastructure PSC | South Africa | Conditional | - | PSC |
| Mid Dish Structure | China | Conditional ¹ | Italy, South Africa, Spain, Germany | ECC (SC) |
| Mid Dish PSC | South Africa | Conditional | - | PSC |
| Mid Digitisation | Sweden | Provisional ¹ | Canada, France, South Africa | ECC |
| Mid AIV PSC | South Africa | Conditional | Japan and Portugal | PSC |
| Mid CSP | Canada | Conditional | USA | ECC |
| Mid Clocks | United Kingdom | Conditional | Switzerland | ECC |
| Mid Timing | United Kingdom | Conditional | Australia, Spain | ECC |
| Mid Cryo | United Kingdom | Conditional ¹ | (France, Germany) | ECC |
| MID SPF Services | South Africa | Conditional | - | ECC (SC) |
| Mid Band 1 SPF | Sweden | Conditional | India, Spain | ECC |
| Mid Band 2 SPF | South Africa | Conditional | - | ECC |
| Mid Band 5 SPF | United Kingdom | Conditional ¹ | Sweden, (France, Portugal, Spain) | ECC |
| Low SPC | France | Conditional ² | - | ECC (PSC) |
| Mid SPC | France | Conditional ² | - | ECC (PSC) |
| Low Networks | Unallocated | - | - | ECC |
| Mid Networks | Portugal | Conditional ² | - | ECC (PSC) |
| OMC | India | Conditional | Italy, Portugal, South Africa, United Kingdom | PSC |
| SDHP | United Kingdom | Conditional | Australia, China, Germany, India, Italy, Netherlands, Portugal, South Africa | PSC |
| Low CPF | United Kingdom | Conditional ² | - | ECC (PSC) |
| Mid CPF | United Kingdom | Conditional ² | - | ECC (PSC) |
| MeerKAT Integration | South Africa | Conditional | - | PSC |

SKAはFair Work Return (FWR)を原則にしており、貢献額の70%をその国で調達する。

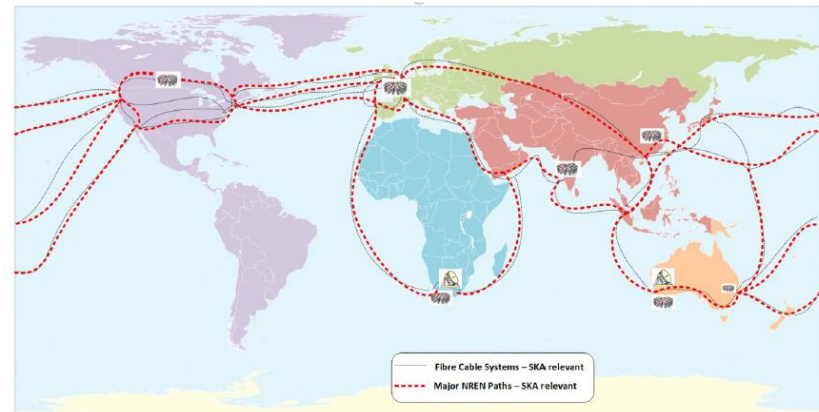
日本は、他の項目でも貢献が求められているが、予算化の目処が立っていないので、今後検討が必要

Data Flow through SKA



SKA Regional Centres (SRCs)

- SDPまでが‘望遠鏡’ → 観測時間配分の一環
- SRCがユーザーの解析環境
- 現在6か国(オーストラリア・南ア・イギリス・インド・カナダ・中国)が主要サーバの提案 + 各国がノードを持つ



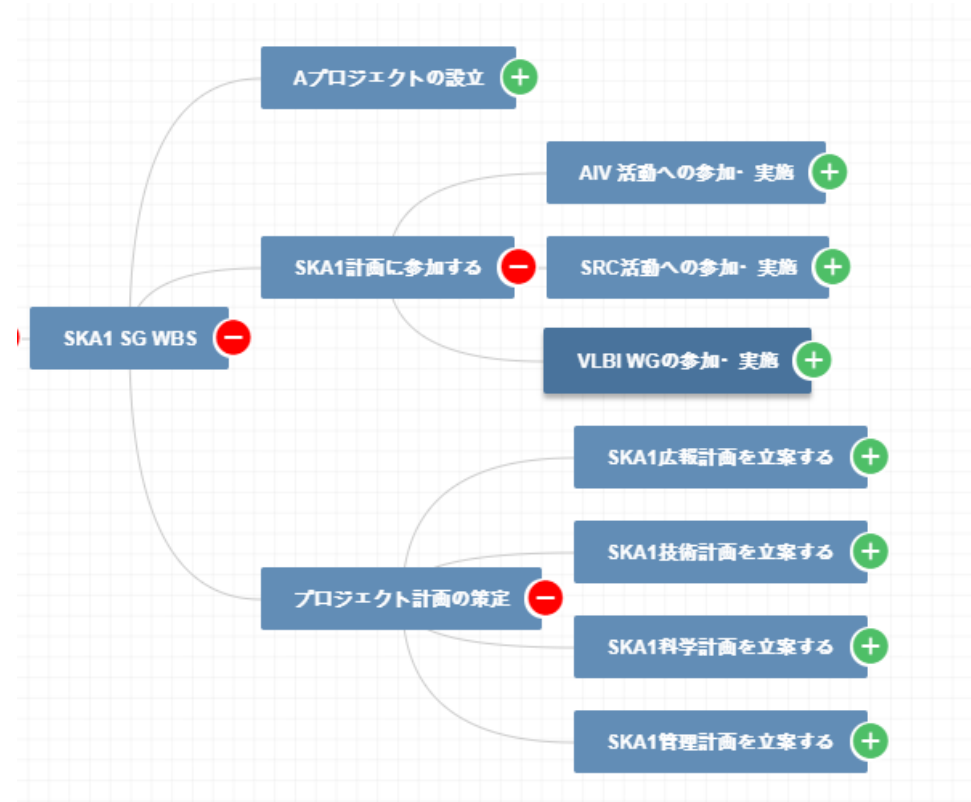
2. 国立天文台SKA1検討Gの状況 SKA1検討グループへのチャージ

- 期間: 約3年(2022年3月末まで)
- 検討リーダー: 小林 秀行
- チャージ - 重要課題
 1. 期間内に、審査報告書[RD01]で指摘された要旨3点を解決し、条件付処理事項5点をクローズする。
(補足)
 - ① The Project should make a personnel transfer plan to foreign organizations in which a significant fraction of permanent staff are transferred to and indeed a few permanent staff should have been transferred by the end of the period.
 - ② The Project should make a staffing plan which describes contributions to SKA1 by in-kind staffing contribution from Japanese universities through NAOJ, which should be approved by SKA headquarter.
 - ③ The Project should consider the change of the contribution with radio receivers if the proposers wish to continue this project after the end of the period. The Panel recommends that Band 5c receivers which the proposers wish to plan should be changed to those with other receiver band(s) or other instrument(s) or more in-kind contributions which strongly link to scientific motivations of Japanese science community.
 1. 国立天文台承継職員のSKA本部もしくは現地への派遣計画を作成し、実際に幾人か承継職員が期間内に派遣される。
 2. 大学の人的貢献が国立天文台の貢献の一部としてSKA本部により合意され、それらの貢献も含めた計画を作成する。
 3. 台長が追加で定める特別なチャージを実行する。

- AIV (Assembling, Integration and Verification) と SV (Science Validation) への参加
- SRC (Science Regional Center) への参加
- SKA-VLBI WG (Development Program) への参加
- Band6/7の技術検討への参加

- 各Key Science Programへの参加

- 2021年9月末の提案を目指す!



予算目安(総額70億円、2022-2028)

■SKAへの貢献 40M€(50億円)

- AIV 5.4M€(6.8億円)
- Cash 3.3M€(4.1億円)
- SODPへの参加 3.6M€(4.5億円)
 - ✓ VLBIなど
- 運用への貢献 28M€(35億円)
 - ✓ Science Verification
 - ✓ Cash

■SRC参加 12M€(15億円)

- 日本SRCシステム
- 解析・アーカイブSWの開発
- 運用費(User supportなど、人件費含む)

■国内活動 5億円

- 予備研究計画
- 国立天文台プロジェクト室運用

Plan to Funding of SKA commitment

2019 ----- 2022 -----2027

NAOJ

SKA1 Study Group

SKA1 Project



Project Proposal



Fund raising to MEXT ~40M€

JSPS
(competitive funds)



Proposal to JSPS ~10M€



MasterPlan/
Roadmap
2020



MasterPlan/
Roadmap
2023

Science Council
MEXT

■何がGive and Takeか？

- 貢献 Cash, In-kind, Manpower
 - ✓ Cash: SKAO management経費
 - ✓ In-kind: Subsystemの建設
 - ✓ Manpower: 設計・製作・試験
 - ✓ 70%のreturn (拠出金の70%以上をその国で支出)
- 獲得 観測時間、Presence
 - ✓ 観測時間
 - Key ScienceのPI, sub-PI, Memberとしての参加
 - Open 時間への参加 (メンバ時間)
 - ※ 本来の意味のopen sky は全体の5%
 - 観測時間の配分は、**貢献割合に比例する**
 - ✓ Presence
 - Science collaboration
 - Engineering collaboration

■主にTelescope AIVへの参加

- 全体をアッセンブルした機能・性能の評価
- SWとのインテグレーション

■Science Validationへの参加

- 観測性能、キャリブレーション性能の達成、実証試験

■Low Midともに2020年からIn-kindの参加

- LOW PSI (Preliminary System Integration) 実施 河野
- MID PSI実施、ITF (Integration Test Facility) 検討 小山、砂田、寺家

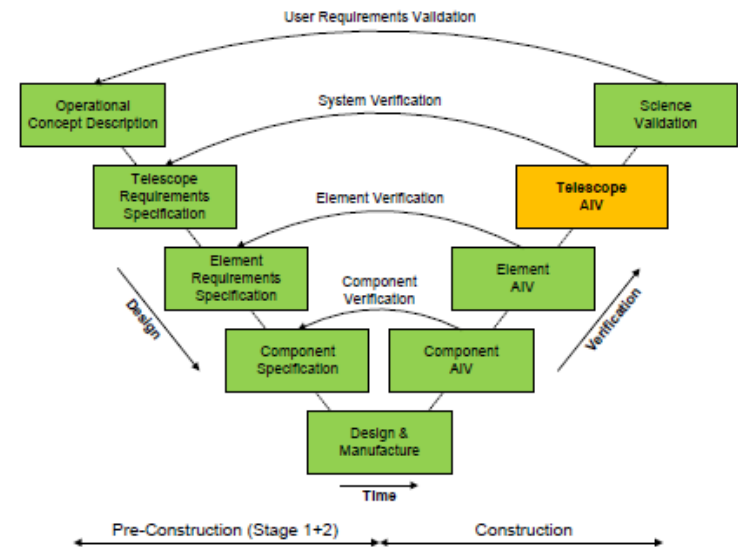


Figure 1: V-Diagram showing top-down design and bottom-up verification.

○SRC検討WGへの参加(赤堀、広田、島袋(雲南大)、吉川(筑波大))

- 要求要件、機能、分担の検討
- 国際協力開発体制の検討



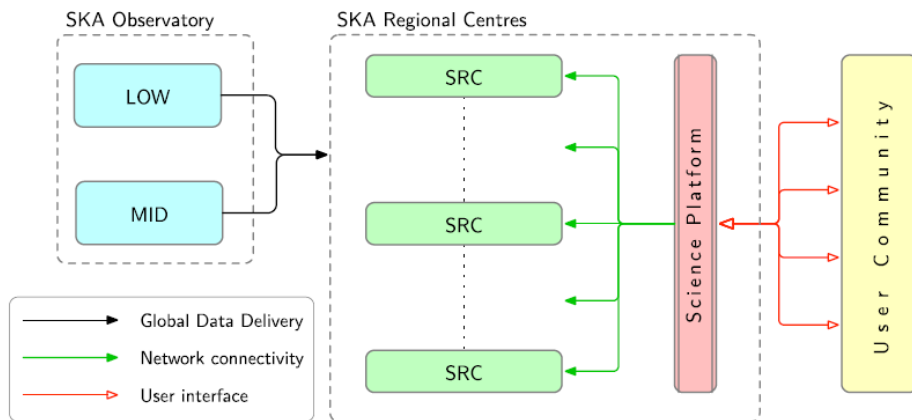
- 国際SRCコンソーシアムで7つのSWG
- WG0 SRC Network Architecture
 - WG1 Data Logistics
 - WG2 Operations
 - WG3 Software 1
 - WG4 Software 2
 - WG5 Compute
 - WG6 Science User Engagement

○中国(上海天文台)との2国間協力

- 上海・水沢協定にSRCに関する協力
- 2019年5月に東アジアSKAサイエンスWSの開催(学振:2国間セミナー)
- MWAを用いた研究での協力

○国内でのSRC 検討グループの組織と検討

- データ解析エキスパート、ALMA ARC, ソフトウェアエンジニアなどで構成



■共同開発、共同研究

- 人的な貢献の期待 (AIV, SV, SRCなど)
- 競争的資金の共同での獲得 (科研費: 学術変革など、その他)
- 参加した研究者へのリターンの検討
 - ✓ 従来の共同利用の方法をそのまま適用できない
 - ✓ 共同研究拠点としての国立天文台の役割

■サイエンス戦略の議論

- キーサイエンスにどのように参画するか？
- キーサイエンスにチームで参加か、個別に参加か？
- チームビルドをどのように進めるか？
- 個別プロポーザルに対応する予備研究の進め方？

3. 今後の方針とまとめ(1)

- SKA1は国際機関の設立、2021年7月から建設の開始、2024年から部分観測の実施
- 検討グループのチャージを受けた活動、国立天文台へのプロジェクト提案準備(2021年9月を目途)
- 科学・技術面でのSKA-JPとの連携のさらなる強化
- 技術研究計画
 - AIV/SVへの参画
 - SKA VLBI WGに参加
 - Band6技術検討
- 科学研究計画 → Science Strategyの必要性(予算貢献より大きな研究成果)
 - Key Science への参画
 - SRCへの参加
 - プロポーザルへの準備研究
 - 国内ユーザーの拡大

3. 今後の方針とまとめ(2)

■ 課題

- プロジェクトプランの策定、プロジェクト提案、設立、予算の獲得
- 役割の具体化
- 技術的なFeasibilityと予算精度の向上
- Science promotionの方針・戦略