

宇宙電波懇談会シンポジウム2013

SKA概要・重要文書

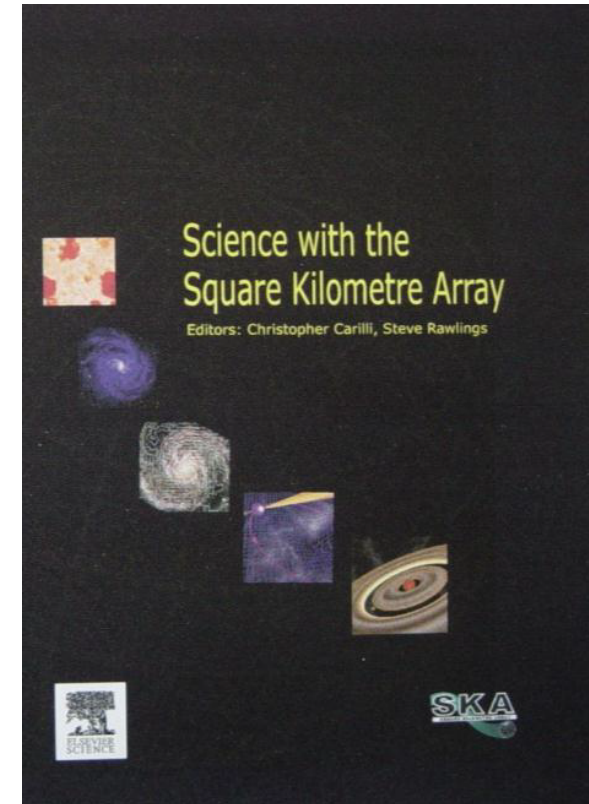
鹿児島大学 中西裕之



SKA2 Key Science Drivers



- ORIGINS
 - Neutral Hydrogen in the Universe from the Epoch of Re-ionisation to now
 - When did the first stars and galaxies form?
 - How did galaxies evolve?
 - Dark Energy, Dark Matter
 - Astro-biology
- FUNDAMENTAL FORCES
 - Pulsars, General Relativity and gravitational waves
 - Origin and evolution of cosmic magnetism
- TRANSIENTS (new phenomenon)



Science with the Square Kilometre Array
(2004, eds. C. Carilli & S. Rawlings,
New Astron. Rev., **48**)

SKA1 Key Science Drivers



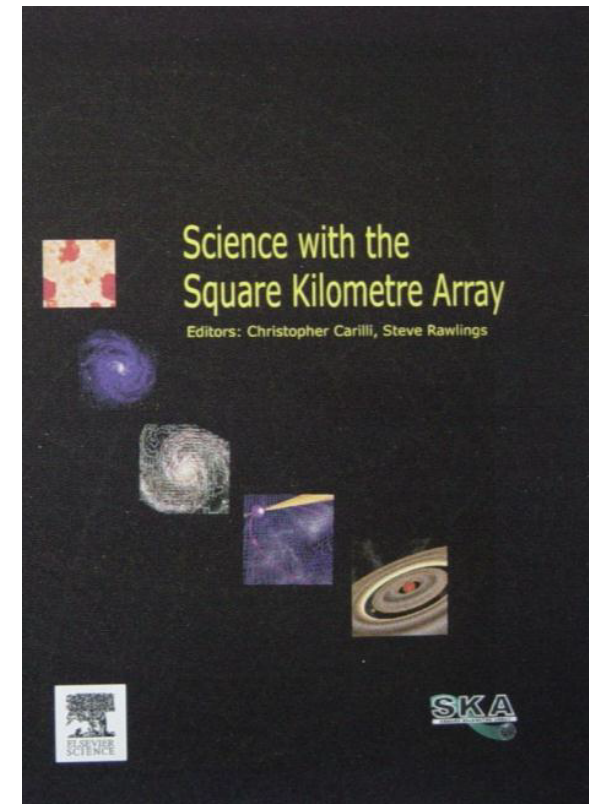
- ORIGINS

- Neutral Hydrogen in the Universe from the Epoch of Re-ionisation to now

- When did the first stars and galaxies form?
 - How did galaxies evolve?
 - Dark Energy, Dark Matter

- FUNDAMENTAL FORCES

- Pulsars, General Relativity and gravitational waves



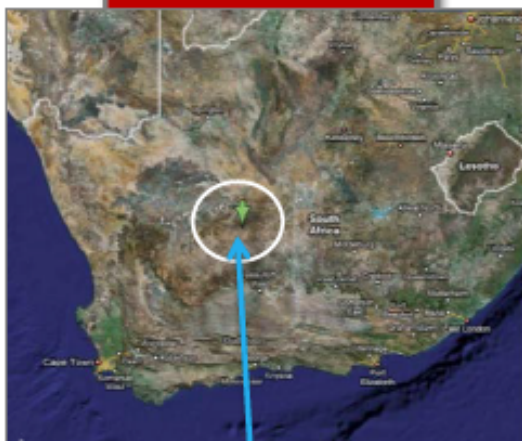
*Science with the Square
KilometreArray*
(2004, eds. C. Carilli& S. Rawlings,
New Astron. Rev., **48**)

SKA phase 1 (SKA1)



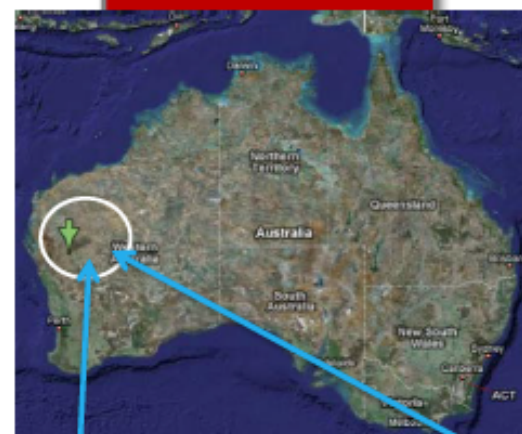
- 建設費: €650M (920億円@€1=140円)
- 建設開始: 2017年

Southern Africa



SKA1_MID
254 Dishes including:
64 x MeerKAT dishes
190 x SKA dishes

Australia



SKA1_LOW
Low Frequency Aperture
Array Stations



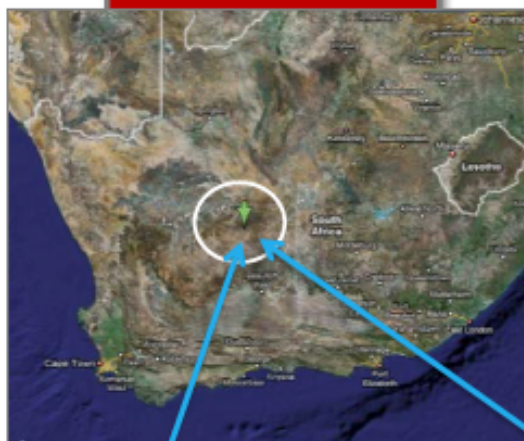
SKA1_SURVEY
96 Dishes including:
36 x ASKAP
60 x SKA dishes

SKA phase 2 (SKA2)



- 建設費: 未定 (>€1.5B=2100億円@€1=140円)
- 建設開始: 2022年

Southern Africa

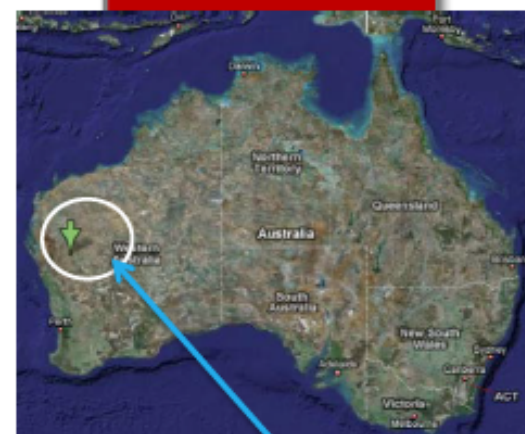


SKA2_MID
2500 Dishes



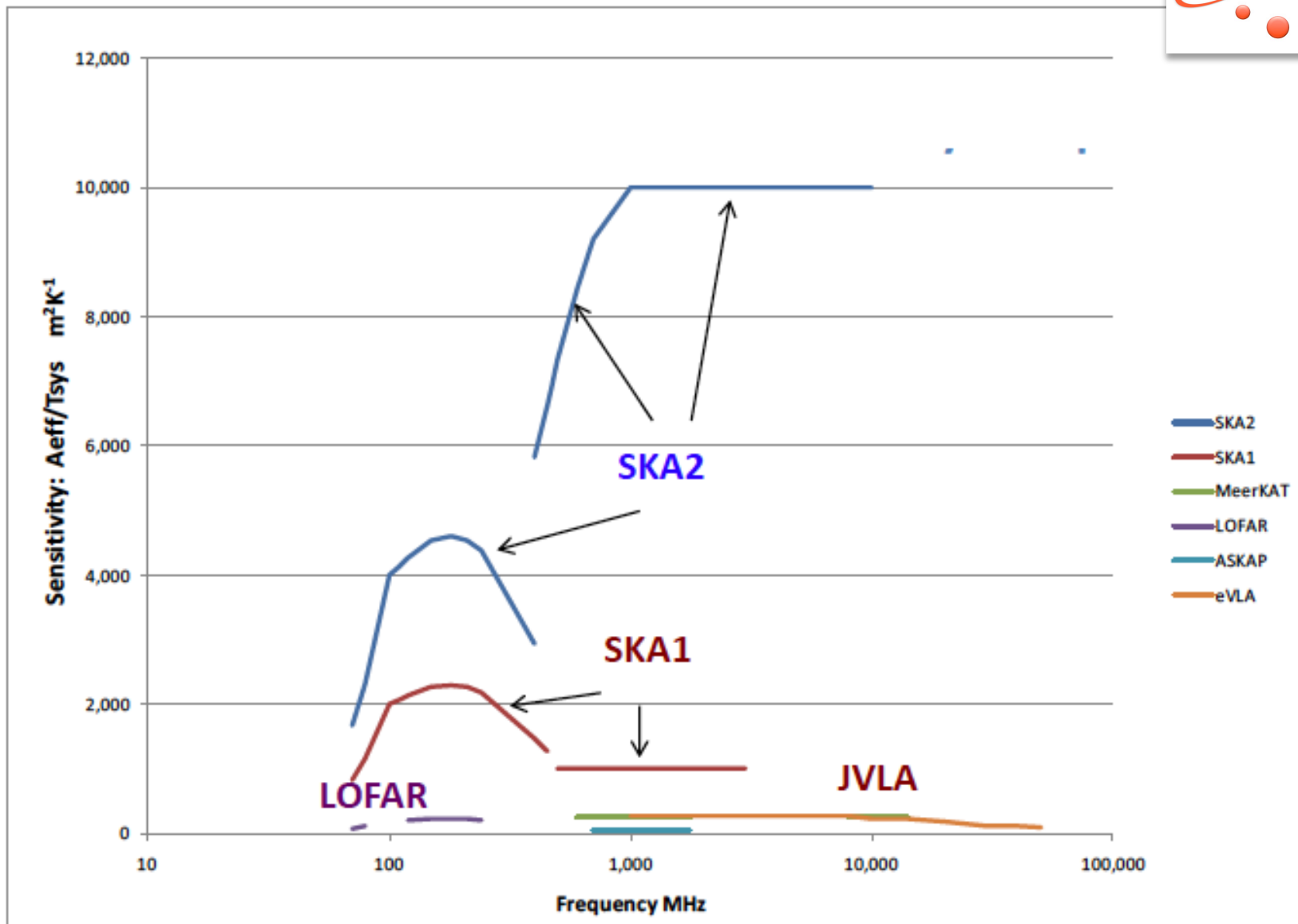
SKA2_AA
Mid Frequency Aperture
Array Stations

Australia

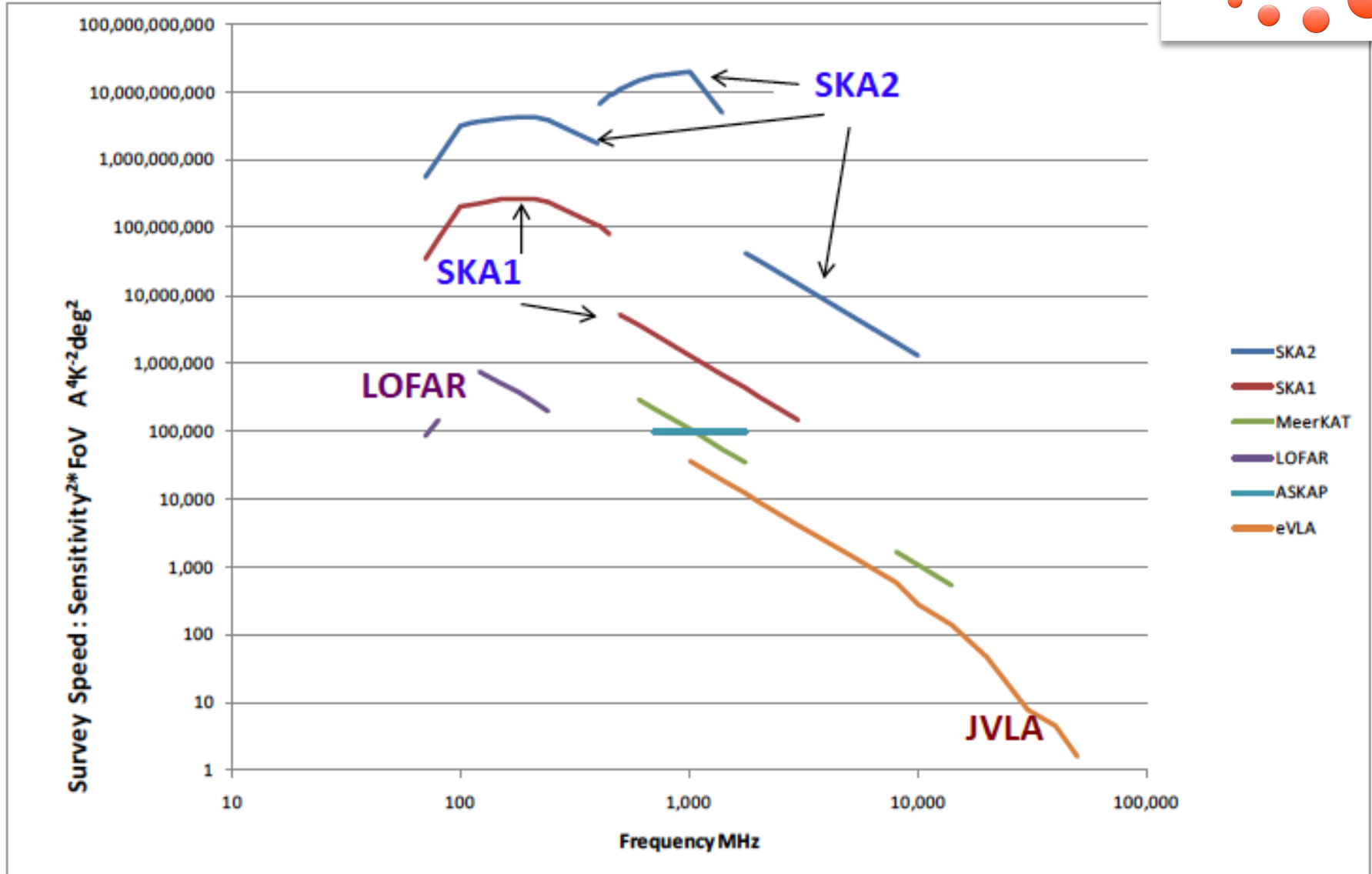


SKA2_LOW
Low Frequency Aperture
Array Stations

感度



Survey Speed



SKA 組織

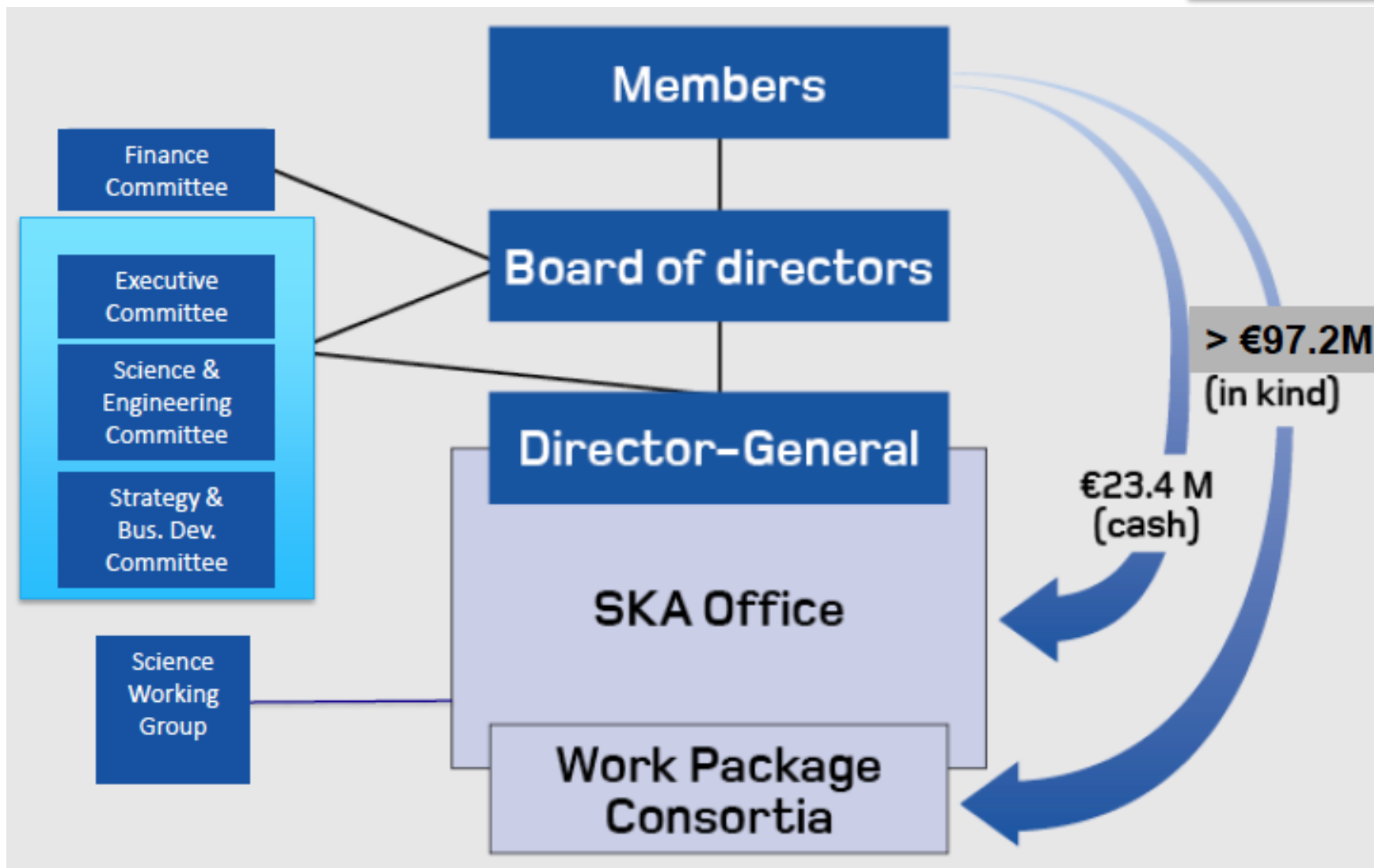


参加国・機関

1. Australia (DIISRTE)
2. Canada (NRC-Herzberg)
3. China (MOST)
4. Germany (BMBF)
5. Italy (INAF)
6. Netherlands (NWO)
7. New Zealand (MED)
8. South Africa (DST)
9. Sweden (Chalmers)
10. UK (STFC)
11. *India (Tata/DAE)*

イギリス法人として設立

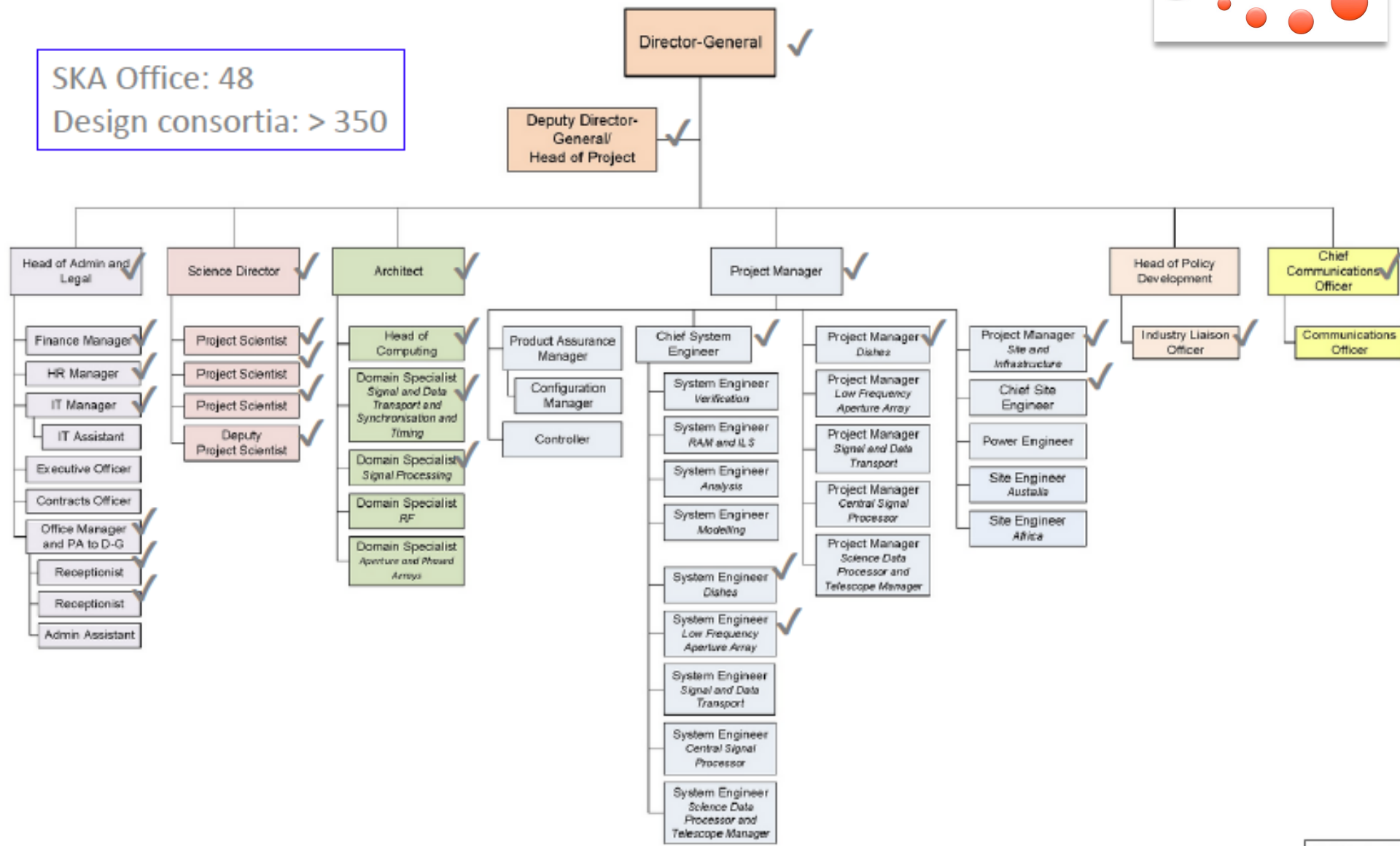
SKA 組織



SKA Officeの組織図



SKA Office: 48
Design consortia: > 350



プロジェクトの推進方法



- SKAデザインはSKAオフィスと契約を結んだ10の国際コンソーシアムが引き受ける
- SKAオフィスはシステムエンジニアを遂行し、コンソーシアムからのデザインをレビューし、進捗をモニターし、評価する
- SKAオフィスはbaseline conceptual designを発行し、デザインの初期設定を行う
- SKAオフィスはプロジェクトのデザインに関する権限を有する

Work Packages



Led by SKA Office

- Management
- Science
- System Design and system engineering
- Maintenance & Support and Operations

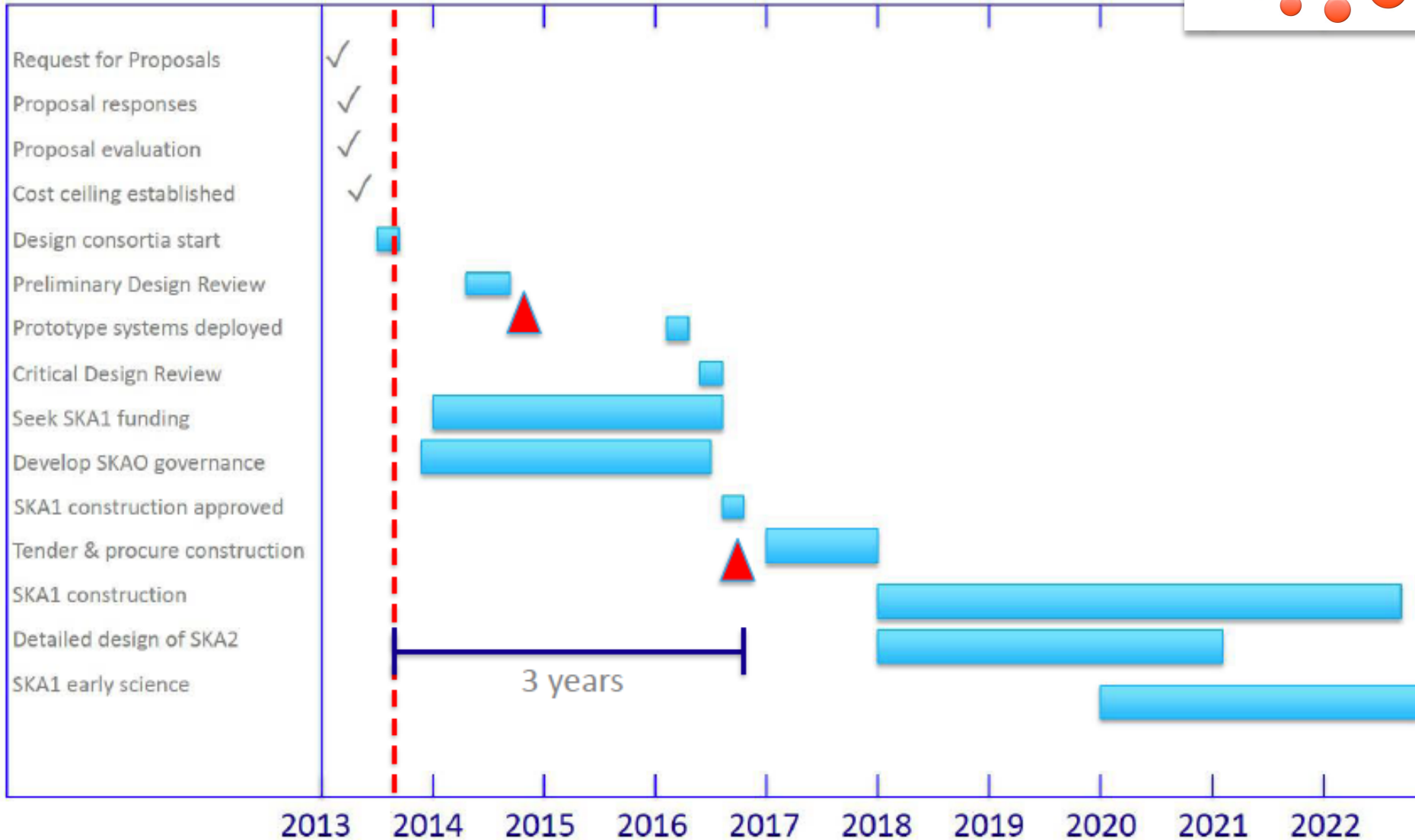
Carried out by Work Package Consortia

- Dish Array
- Aperture Arrays
- Signal and Data Transport (including synchronisation and timing)
- Central Signal Processor
- Science Data Processor
- Telescope Manager
- Infrastructure, including power
- Assembly, Integration and Verification

Advanced Instrumentation Programmes (to be integrated with Dish & AA WPs)

- Mid Frequency Aperture Array
- Wide Band Single Pixel Feeds

Timeline



SKA重要文書



- SKA1 Science Performance (6 Sep 2013)
baseline designを踏まえたcontinuumやlineのサーベイ感度などを記載
- SKA1 System Baseline Design (12 Mar 2013)
Science CaseとDRMからの要望を踏まえた 最初のデザイン
- SKA₁ Design Reference Mission (SKA₁ DRM): (31 May 2011)
SKAの仕様を決めるための科学研究からの要請(SKA₁用)
- SKA₂ Design Reference Mission (SKA₂ DRM):
SKAの仕様を決めるための科学研究からの要請(SKA₂用)
- SKA Project Execution Plan (PEP): (15 Oct 2010)
Pre-Construction phaseにおけるSKAの推進体制について規定した文書
- SKA Memo 130 : (22 Nov 2010)
SKA₁仕様の詳細
- SKA Memo 125: (1 Jun 2010)
SKA₁仕様のベースラインを定義

SKA Memo 125: SKA₁の仕様



- 最終的なSKA仕様の10%程度の規模の段階。
- コンセプト デザインはSKA Memo 125に記載。Baseline Designは右表
- SKA₁のサイエンスとしての2つが最重要課題として取り上げられることとなった
 1. 暗黒時代から現在までのHIの歴史解明
 2. パルサーによる重力波検出

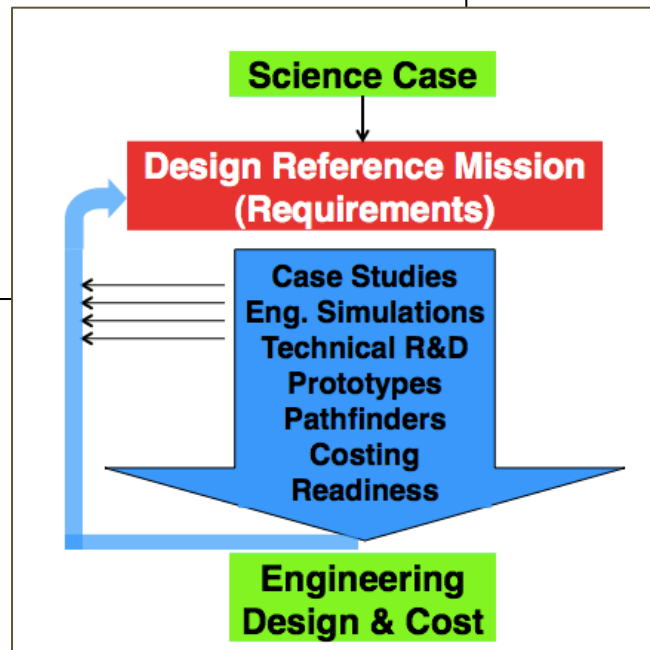
Parameter	Value
Frequency Range: Antennas	
SKA ₁ Low: (sparse aperture arrays)	70 – 450 MHz
SKA ₁ Mid: (dishes)	
Capability range	0.3 – 10 GHz
Initial baseline implementation	0.45 – 3.0 GHz
Baseline instrumentation	
SKA ₁ Low:	70 – 450 MHz 2000 m ² /K
SKA ₁ Mid:	0.45 – 3.0 GHz 1000 m ² /K
SKA ₁ Advanced Instrumentation Program	<i>e.g.</i> <i>High-frequency feeds,</i> <i>Field-of-view expansion</i> <i>technology,</i> <i>AA digital upgrades,</i> <i>Ultra-wide-band feeds etc.</i>
Frequency resolution (low-band):	1 kHz
Time resolution:	
Tied Array Beam (pulsars, VLBI)	1 nsec
Pulsar search equipment	0.1 msec
Max. baseline length from core	100 km

Design Reference Mission (DRM)



The Square Kilometre Array Design
Reference Mission:
SKA-mid and SKA-lo

*SKA Science Working Group
v. 1.0*



Version 1.0 updated on 31 May 2011

本文書の目的:

サイエンスから要求される装置仕様を提示

† Design Reference Mission establishes “traceability” from the science goals to science requirements to technical requirements.

ALMAの”Reference Science Plan” 等に相当

DRMの目次

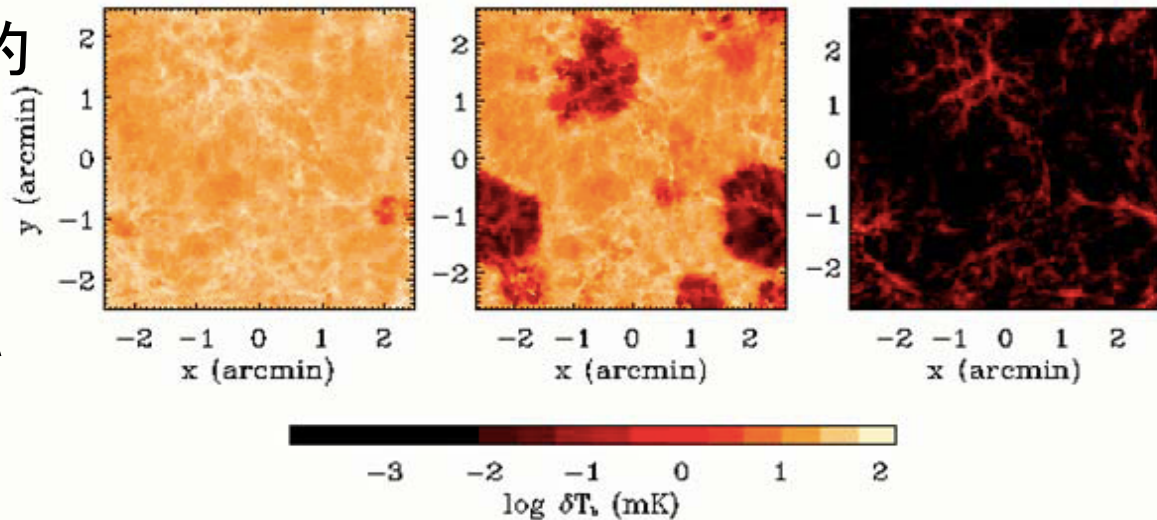


- **Probing the Dark Ages and the Epoch of Reionization**
 - Epoch of Reionization HI Imaging Tomography
- **Galaxy Evolution, Cosmology, and Dark Energy**
 - Resolving AGN and Star Formation in Galaxies
 - Tracking Cosmic Star Formation: Continuum Deep Field
 - Neutral Gas in Galaxies: Deep HI Field
 - Tracking Galaxy Evolution over Cosmic Time via HI Absorption
 - HI Baryon Acoustic Oscillations
 - Probing AGN Environments via HI Absorption
- **The Origin and Evolution of Cosmic Magnetism**
 - Cosmic Magnetism Deep Field
 - Wide Field Polarimetry
- **Strong Field Tests of Gravity Using Pulsars and Black Holes**
 - Probing Gravity, Dark Matter, and Stellar Populations in the Galactic Center with Radio Pulsars
 - Pulsar Surveys with the SKA
 - Pulsar Timing with the SKA
- **The Cradle of Life**
 - Pre-biotic Molecules in and around Protoplanetary Disks
- **Exploration of the Unknown**
 - The Transient Radio Sky

EoR / HI Imaging Tomography



- 目標:
 - 宇宙最初の星・銀河($z > 6$)によるIGMの電離(宇宙再電離)を捉える
- 理論モデルからの予想: ピークで10mK (eg. Ciardi & Madau, 2003)
- 困難な点:
 - 銀河系の前景非熱的放射の分離
 - 高銀緯を観測することで軽減
 - 最初全天サーベイを行い最適な観測点を探す



EoR / HI Imaging Tomography



Scientific Requirements

Parameter	Value
Redshift	6 – 19 (6 – 30 goal)
Brightness temperature noise level	1 mK
Angular resolution	1'
Radial resolution	2 Mpc
Field of View	sufficient to mitigate cosmic variance

Lower limit $z=6$ はQSO分光(Fan et al. 2006)
Upper limit $z=20$ は5-yr WMAP 光学的深さ
(Komatsu et al. 2008)より

Technical Requirements

Parameter	Value	Requirement
Frequency range	70–200 MHz (50–200 MHz goal)	Redshift coverage
Frequency resolution	100 kHz	Radial resolution
Maximum baseline	$b_{\max} = 5$ km core (~50 km outer baselines)	Angular resolution (calibration, foreground removal)
Polarization	Full	Calibration, foreground removal
Integration time	> 1000 hours	HI brightness temperature
$A_{\text{eff}}/T_{\text{sys}}$	> 2000 $\text{m}^2 \text{K}^{-1}$	HI brightness temperature

奥行き距離
1.7 Mpc ($\Delta\nu/100$ kHz)

$A_{\text{eff}}/T_{\text{sys}}$: 感度の指標
集光面積 ÷ システム雑音温度

Project Execution Plan (PEP)



Pre-Construction Phaseにおけるプロジェクト実行計画の詳細を定義

内容

- 1章 PEPとは
- 2章 Pre-Construction Phase に関する基本的な経営戦略と理念
- 3章 SKA のための科学的動機
- 4章 システム説明書の概要とSKA1◇SKA2 設計過程の説明
- 5-6章 Work Package (WP) のまとめ
- 7章 Work Package Contractを執行しうるパートナーシップのまとめ
- 8章 計画の将来統治に関する原則と可能な組織チャートのまとめ
- 9章 リスク対策とリスク経営プランの説明
- 10章 技術と産業取り込み計画の概要
- 11章 Pre-Construction Phase の間の社会貢献
- 12章 SKA の社会経済への利益のまとめ



PROJECT EXECUTION PLAN

PRE-CONSTRUCTION PHASE FOR THE SQUARE KILOMETRE ARRAY (SKA)

Document number MGT-001.005.005-MP-001
Revision 1
Author R.T. Schilizzi et al (see below)
Date 2010-10-15
Status Draft

Name	Affiliation
P Alexander	UCAM
J Cordes	Cornell
D DeBoer	CSIRO
M de Vos	ASTRON
P Diamond	CSIRO
S Dougherty	DRAO
P Hall	ICRAR
J Jones	NRF
S Rawlings	UQXF
J Bowler	SPDO
K Cloete	SPDO
P Crosby	SPDO
P Dewdney	SPDO
C Greenwood	SPDO
R McCool	SPDO
W Turner	SPDO

SKA1 System Baseline Design



SKA-TEL-SKO-DD-001
Revision : 1

この文書の目的

- Science case(Carilli&Rawlings 2004, Gaensler 2004)とDRMの要望を踏まえた最初のデザイン
- 最終決定ではなく、pre-construction phaseで決定
- 取り入れる技術は確立されたものとする

境界条件

- オーストラリアと南アフリカに建設
- オーストラリアにはSKA-low (AA)およびSKA-survey(dish+PAF, ASKAPが取り込まれる)
- 南アフリカにはSKA-mid (MeerKATが取り込まれる)
- Cost capを取り入れる



SKA1 SYSTEM BASELINE DESIGN	
Document number.....	SKA-TEL-SKO-DD-001
Revision.....	1
Author.....	P.E. Dewdney
Date.....	2013-03-12
Status.....	Released

Name	Designation	Affiliation	Date	Signature
Owned by:				
P. E. Dewdney	SKA Architect	SKA Office	Peter E. Dewdney	
Additional Authors				
W. Turner, R. Millenaar, R. McCool, J. Lazio, T. J. Cornwell				
Approved by:				
Joseph Lazio	Science Director (Acting)	SKA Office		
Released by:				
P. Diamond	Director-General	SKA Office		

SKA1 System Baseline Design



この文書の目的

- Science case (Carilli & Rawlings 2004, Gaensler 2004) と DRM の要望を踏まえた最初のデザイン
- 最終決定ではなく、pre-construction phase で決定
- 取り入れる技術は確立されたものとする

境界条件

- オーストラリアと南アフリカに建設
- オーストラリアには SKA-low (AA) および SKA-survey (dish + PAF, ASKAP が取り込まれる)
- 南アフリカには SKA-mid (MeerKAT が取り込まれる)
- Cost cap を取り入れる

デザインするうえでの前提

precursor の設備やインフラをできるだけ利用する

建設中も precursor はできるだけ運用する

dish は 1 度に 1 種類の feed しか使えない (PAF or SPF)

全ての望遠鏡は単独でも運用できる
SKA-low と SKA-survey の場所は同じ敷地内でも少し離す

SKA-low と SKA-mid については SKA2 への拡張を想定する

今後の技術の進展については 2016 年までを想定する

ただしデータ解析用の計算機は 2019 年までを想定する

SKA1-Low Baseline Design

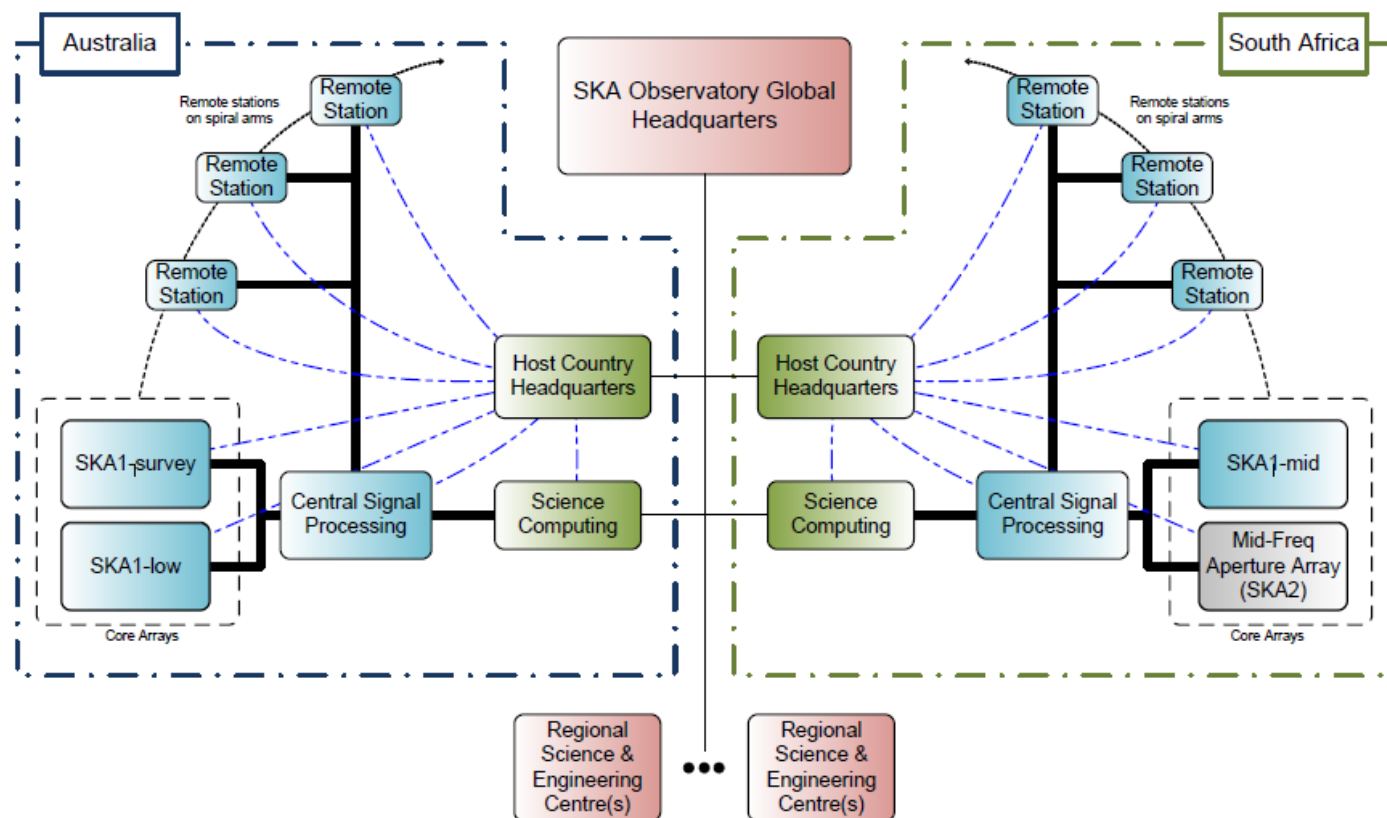


- Frequency Range = 50 to 350 MHz
log periodic dipoles, dense – sparse transition at 111 MHz
- $A_{\text{eff}}/T_{\text{sys}} = 1000 \text{ m}^2/\text{K}$ at 110 MHz
<1mK noise (5' resolution @108MHz)
LOFAR (120 MHz, Full EU) $\sim 30 \text{ m}^2/\text{K}$, MWA (150 MHz) $\sim 7 \text{ m}^2/\text{K}$
- FOV = 27 deg^2 (110 MHz), 35m stations
- Instantaneous Bandwidth = up to 250 MHz
- Core radius = 2.5 km (3' resolution at 110 MHz)
- Longest baseline = 60 km (7" resolution at 110 MHz)
- Max number of channels = 250,000
- Frequency Resolution = 1 kHz

Host country



HeadquarterとScience Data Processing Centreを
PerthとCape Townに設置。運用および保守に責任
を持つ。



SKA1-Mid Baseline Design



- Frequency Range = 0.35 to 1.67 GHz initially with two SPFs
Dishes good to 20 GHz
- $A_{\text{eff}}/T_{\text{sys}} = 1600 \text{ m}^2/\text{K}$ for 0.9 to 1.67 GHz (L-Band 2)
190 x 15m SKA1 dishes, 64 x 13.5m MeerKAT dishes, 0.78 eff and 20K T_{sys}
0.2 microJy rms in 12 hours (continuum)
JVLA = $265 \text{ m}^2/\text{K}$, Arecibo = $1100 \text{ m}^2/\text{K}$
- FOV = 0.8 deg^2
- Usable Bandwidth = up to 770 MHz
- Longest baseline = 200 km ($0.25''$ resolution at 1.3 GHz)
- Max number of channels = 256,000
- Frequency Resolution = 3.9 kHz, 1.2 km s^{-1} in L-Band 2 (0.9 – 1.67 GHz)

SKA1-Survey Baseline Design



- Frequency Range = 0.65 to 1.67 GHz
initially with 1 PAF
Dishes good to 20 GHz
- $A_{\text{eff}}/T_{\text{sys}} = 391 \text{ m}^2/\text{K}$
60 x 15m SKA1 dishes, 36 x 12m ASKAP dishes, 0.80 eff and 30K Tsys
1.1 microJy rms in 12 hours (continuum)
- FOV = 18 deg^2 (36 beams like ASKAP)
SSFoM = $27 \times 10^5 \text{ m}^4/\text{K}^2 \text{ deg}^2$
ASKAP = $1.3 \times 10^5 \text{ m}^4/\text{K}^2 \text{ deg}^2$
- Usable Bandwidth = up to 500 MHz
- Longest baseline = 50 km (1" resolution at 1.2 GHz)
- Max number of channels = 256,000
- Frequency Resolution = 1.95 kHz, 0.9 km s^{-1}

SKA2へ向けて



SKA-low

- $z=2.5-6$ のimagingが重要となればlow-frequency dense aperture arrayを作って感度と角度分解能を挙げる
- EoRの21cm線が観測されて、imagingができなければ 角度分解能を上げるべく基線を長くする

SKA-mid

- 感度を10000 m^2/K に上げる
- PAFをつけてsurvey speedを上げる
- dense aperture array (1-2 GHz)で大規模サーベイ

SKA-survey

- より低周波、より高周波のPAFを1つずつ搭載

Advanced Instrumentation Program

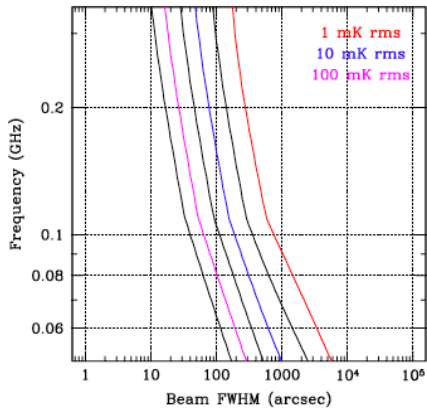
- wide-band single pixel feed コスト安、複数のlineを同時観測、continuum感度改善
- dense aperture array 視野が広大”billion galaxy survey”
- PAF SKA1にすでに組み込まれている

SKA1 Science Performance

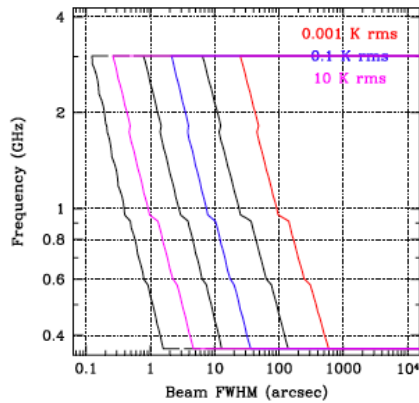


baseline designを踏まえたcontinuumやlineのサーベイ感度などを記載

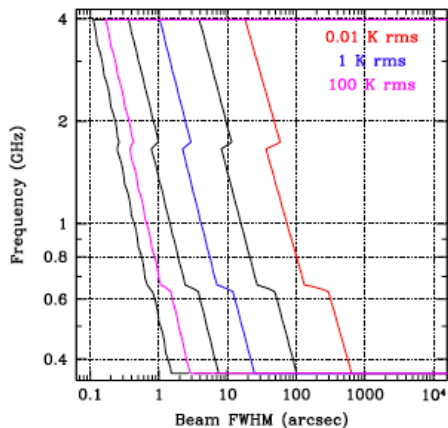
SKA1-Low Line Deep Field (1 MHz, 1000 h)



SKA1-MID Line Deep Field (30 km/s, 1000 h)



SKA1-SUR Line Deep Field (30 km/s, 1000 h)



SKA-TEL-XXXXXX
Revision: REV A – DRAFT 1



SKA1 SCIENCE PERFORMANCE

Document number SKA-TEL-SKO-DD-XXX
 Revision..... REV A DRAFT1
 Author..... R.Braun
 Date 2013-09-06
 Status DRAFT

Name	Designation	Affiliation	Date	Signature
Additional Authors				
Approved for release:				

まとめ



- SKAはOrigin, Fundamental force, Transientといった天文学上重要な課題を解明する次世代電波プロジェクト
- オーストラリア、南アフリカに建設され、SKA₁はSKA-low, SKA-mid, SKA-surveyからなる。
- SKA₁は2017年より、SKA₂は2022年より建設開始
- SKAプロジェクトに関する詳細は重要文書(SKA₁ Science Performance, SKA₁ System Baseline Design, SKA₁ DRM, PEP, SKA Memo 125)に書かれており、概要を解説した