

JOGMEC カレント・トピックス

独立行政法人 石油天然ガス・金属鉱物資源機構

Africa Downunder 2016 とアフリカのグラファイト探査・開発プロジェクト —リチウムイオン電池の負極材料として需要増が見込まれるグラファイト—

〈シドニー事務所 矢島 太郎 報告〉

はじめに

Africa Downunder (ADU) はアフリカの鉱物資源探査・開発を対象として開催されている鉱業大会である。アフリカを対象とした鉱業大会は毎年南アフリカ共和国で開催されている Indaba が世界最大だが、アフリカ以外で開催されるアフリカを対象とした鉱業大会として ADU は最大規模である。アフリカで探査を行っているオーストラリア資源企業の約 2/3 がパース周辺に存在することから、本会議はパースで毎年行われており、今年は 14 回目の開催である。

本レポートでは、ADU 2016 の概要、そして発表件数の増加が目立ち、活発化しているアフリカのグラファイト探査・開発プロジェクトとグラファイトの概要について紹介する。

1) ADU 2016 の概要

ADU の発表によると、現在オーストラリアの資源企業約 190 社がアフリカで 500 以上の探査プロジェクトを実施している。今年の ADU では、29 社がプレゼンテーションを行った。アフリカは金、白金、銅、鉄鉱石、石炭等の鉱種が胚胎することで知られ、探査・開発が実施されているが、近年はミネラルサンド、グラファイトの探査・開発案件が増加している。発表を行った 29 社のうち、金を対象とする企業が 12 社と圧倒的に多く、金以外ではグラファイト 5 社、銅 3 社、ニッケル、ミネラルサンド、リン酸塩、ダイヤモンドがそれぞれ 2 社、さらに亜鉛、リチウムを採鉱対象としている会社が認められた。発表を行った各社の探査対象鉱種を図 2 に示す。



図 1 ADU 2016 会場の様子

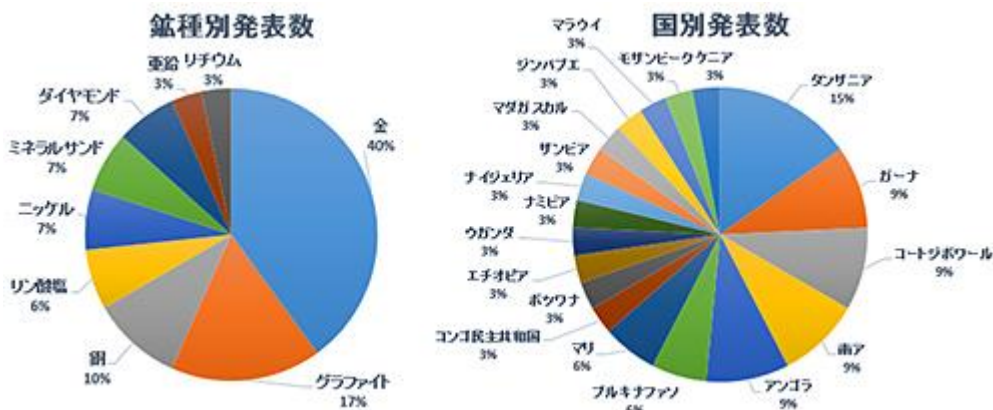


図 2 ADU 2016 発表企業の探査対象鉱種及び対象国

今年のADUの特徴として、特にグラファイトの探査に関わる企業の発表数が目立った。グラファイトはリチウム電池の負極材料に利用されており、今後の需要増が見込まれているため、グラファイト探査プロジェクトが増加している。

アフリカの探査プロジェクトには地域による偏在性が認められ、金は主に西～中央アフリカ、ベースメタルは南～中央アフリカ、グラファイトはタンザニア、モザンビーク、マダガスカル等の東部で探査・開発が実施されている（図3）。

出典：The Australia-Africa Minerals & Energy Group

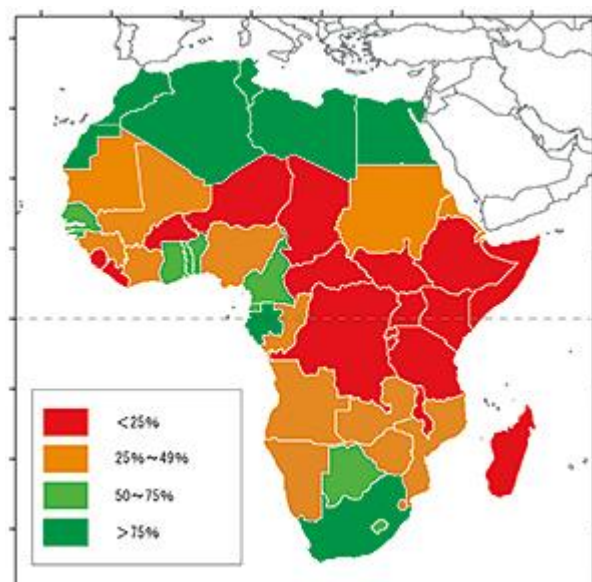
図3 アフリカの資源プロジェクトの分布¹



アフリカに世界の鉱物資源の30%が胚胎しているが、鉱物生産量はまだ世界の8%にとどまっており、今後の資源分野で成長が見込まれている²。一方、本鉱業大会で政府の汚職、違法採掘、伝染病、誘拐、内乱等のリスクが存在することが報告され、さらに多くの国でインフラ整備と電力供給が課題となっていることが指摘された（図4）。

出典：African Natural Resources Center

図4 アフリカ各国における電力供給状況³



主な発表の概要を紹介する。

- ・ケニアの Dan Kazungu 鉱業大臣がケニアの新鉱業法（New Mining Act 2016）について紹介を行った。また、鉱業権申請プロセスの透明性も改善されていることが報告された。
- ・オーストラリア貿易促進庁（Austrade）の Grame Barty CEO 代行は、現在アフリカに必要とされる新技術について紹介を行い、特に非電化地域における太陽光発電と蓄電池から構成されるオフグリッド・ソーラー・ストレージの導入の必要性を訴えた。
- ・非上場の Comet Minerals 社はナイジェリアの Titan プロジェクトでラテライト変質した珪長質岩中に球状の自然ニッケル（Ni 90%）が $1.5 \times 0.5 \text{ km}^2$ のエリアに分布していることの発見について報告した⁴。球状の自然ニッケルは直径 0.1～5.0 mm の大きさである。
- ・コンゴ民主共和国で銅ベルト型鉱床の Kansashi 銅鉱山等を操業している First Quantum Minerals 社は、電力不足のために銅精鉱のフル生産ができない状況を説明した。

¹ The Australia-Africa Minerals & Energy Group (AAMEG) 発表資料

² 2016年9月10日 AFR “Miners must dig past risk to strike gold in Africa”

³ African Natural Resources Center 発表資料から作成

⁴ 2016年9月8日 AFR “Morgan talks up ‘unusual’ nickel find”

- ・アフリカのインフラをテーマとしたパネルセッションでは、電力・道路・鉄道・港湾等のインフラが足りない状況 (infrastructure deficit) であり、各国政府に鉱業を発達させるためには、インフラの開発・整備を進めることの重要性を訴えた。

2) アフリカのグラファイト探査・開発プロジェクト

ADU2016 の参加企業、そしてオーストラリア証券取引所 (ASX) やトロント証券取引所 (TSX) 等に上場している資源企業でアフリカのグラファイトを対象に探査・開発を行っている企業と各プロジェクトについて各社のホームページで公開されている情報を調査した。アフリカのグラファイト探査・開発プロジェクトの一覧を表 1 に示す。各探査プロジェクトの位置図を図 5 に示す。

グラファイトプロジェクトの多くはモザンビーク北東やタンザニア南東の比較的狭いエリアに集中している。モザンビーク北東 Cabo Delgado 州南西部の Balama 地域では現在 Syrah Resources 社、Triton Minerals 社、Metals of Africa 社、Mustang Resources 社の 4 社が同地域内で鉱区を取得してグラファイトの探査・開発を実施している (図 6)。各グラファイトプロジェクトの資源量、グラファイト量、品位を図 7 に示す。モザンビーク Balama 地域のグラファイト鉱床が高品位であり、規模が大きいことが分かる。

表 1 アフリカのグラファイト探査・開発プロジェクト

プロジェクト名	企業名 (権益保有比率)	資源量 総炭素量	国	ステージ
Graphmada	Bass Metals (100) StratMin Global Resources (NSR2.5%)	5.694Mt 4.12%	マダガスカル	生産中 1,500t (2015)
Balama - Syrah	Syrah Resources (100)	1,191Mt 11.0%	モザンビーク	建設中
Molo	Energizer Resources (100)	141.28Mt 5.8-6.3%	マダガスカル	FS 完了
Epanko	Kibaran Resources (100)	22.7Mt 9.8%	タンザニア	FS 完了
Balama - Nicanda Hill	Triton Minerals (80) Grafex Lda. (20)	1,458Mt 10.7%	モザンビーク	FS 実施中
Nachu	Magnis Resources (95) Tanzania government (5)	174Mt 5.4%	タンザニア	FS 実施中
Nachingwea - Namangale	Volt Resources (100) (旧 Mozambi Resources)	446.2Mt 5.01%	タンザニア	プレ FS 実施中
Mahenge	Black Rock Mining (100)	162.5Mt 7.8%	タンザニア	プレ FS 実施中
Duwi	Sovereign Minerals (100)	85.9Mt 7.1%	マラウイ	資源量調査
Montepuez Central	Metals of Africa (100)	61.6Mt 10.3%	モザンビーク	資源量調査
Chilalo	Graphex Mining (100) (IMX Resources から分社化)	25.1Mt 6.0%	タンザニア	資源量調査
Merelani-Arusha	Kibaran Resources (100)	17.2Mt 6.5%	タンザニア	資源量調査
Lindi Jumbo	Walkabout Resources (70) Local partner (30)	-	タンザニア	資源量調査
Ancuabe	Triton Minerals (100)	-	モザンビーク	資源量調査
Balama Central	Metals of Africa (100)	16.3Mt 10.4%	モザンビーク	鉱床分布域調査
Balama - Mustang	Mustang Resources (60-95) Local partner (5-40)	-	モザンビーク	鉱床分布域調査
Maniry	Capricorn Metals (100)	-	マダガスカル	鉱床分布域調査
Chiliogali	Prospect Resources (100)	-	タンザニア	初期探査
Chiziro	Globe Metals & Mining (100)	-	マラウイ	初期探査
Nachingwea - Discovery Africa	Discovery Africa (100)	-	タンザニア	初期探査

出典：各社ホームページ掲載資料より

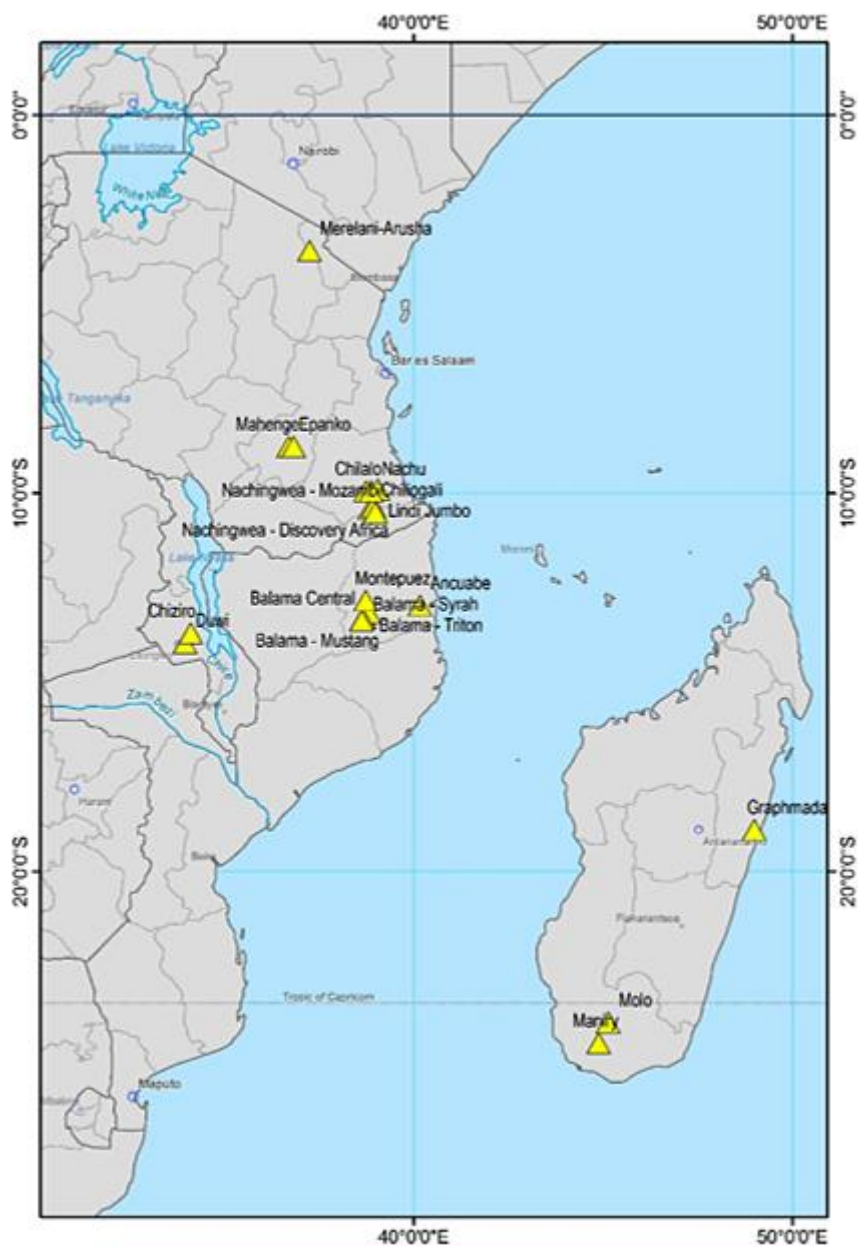
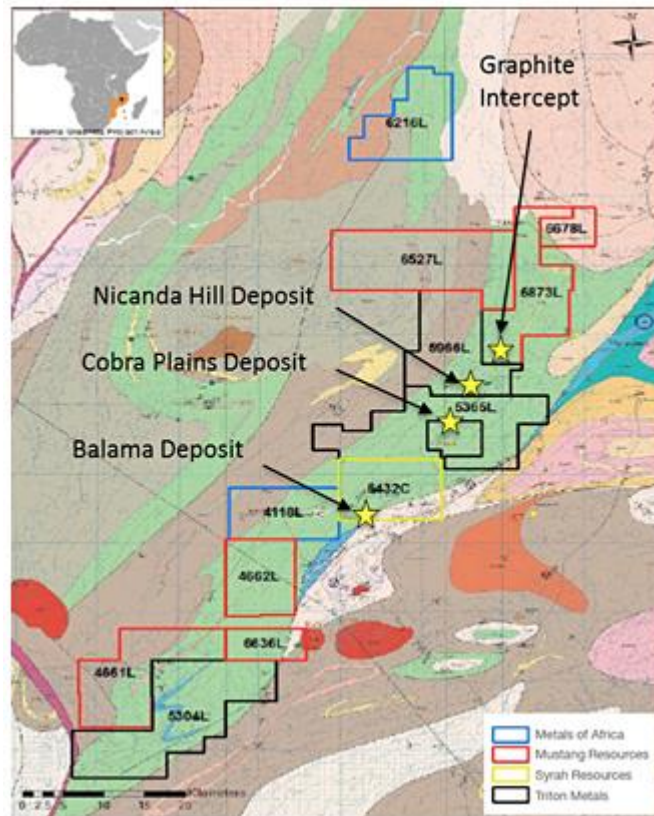
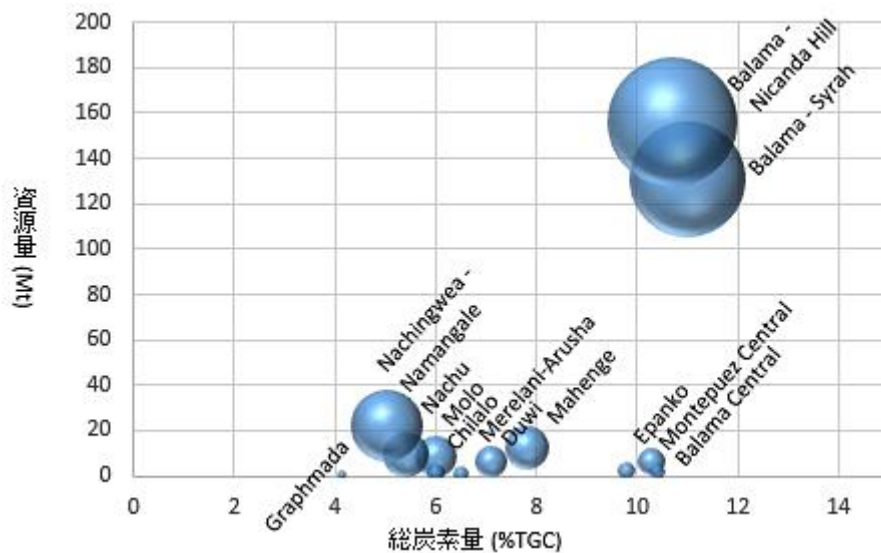


図5 アフリカのグラファイト探査プロジェクトの位置図



出典：Mustang Resources 社ホームページから引用

図6 モザンビーク Balama 地域の各社プロジェクト位置図



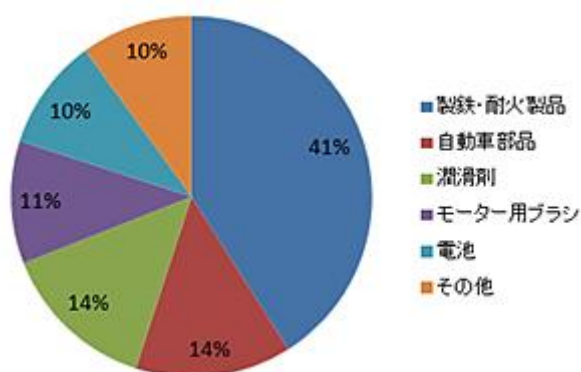
出典：各社ホームページに公表の資源量・総炭素量

図7 アフリカのグラファイト探査・開発プロジェクトの品位、総炭素量、資源量

3) グラファイトの概要

グラファイトは高温における耐久性、潤滑剤としての特性、高い電気伝導度と伝熱性、耐化学薬品性等の特徴的な性質を有する炭素のみからなる鉱物である。グラファイトの用途は幅広く、製鉄・耐火製品、ブレーキシューやクラッチ等の自動車部品、潤滑剤、モーター用ブラシ、電池の材料、鉛筆の芯等に利用されている。現在、グラファイトはリチウムイオン電池の負極材料と

して利用されているが、2015年2月時点の使用量は特に際立っていない（図8）。しかし、今後電気自動車や家庭用蓄電池の普及に伴い、使用量が増加していくことが予想される。



出典：Fetherston (2015)

図8 グラファイトの用途 (2015年2月)⁵

グラファイト鉱床は片岩・片麻岩等の変成岩に伴われることが多く、グラファイトは堆積岩中の有機物や炭酸塩鉱物が広域変成作用を受けて形成される（Fetherston, 2015）。天然のグラファイトは主にフレーク状、非晶質、脈状の3種類に分類されている（表2）。

表2 グラファイトの分類⁶

	フレーク状 (Flake)	非晶質 (Amorphous)	脈状 (Vein)
特徴	結晶質 (フレーク状) 粗粒～細粒	微晶質～隠微晶質 微細<70μm	粗粒な結晶 最大>4 cm
成因	広域変成作用 (同生: syngenetic)	接触変成/広域変成作用 (同生: syngenetic)	熱水性 (後生: epigenetic)
産状	層理に沿って平板状やレンズ状	断層や変形組織に沿って	脈状や裂隙充填
鉱石のTGC	5～30%	5～30%	98%以上
製品のTGC	75～97%	60～90%	98～99.9%
主要生産国	中国、ブラジル、インド、マダガスカル、ドイツ、ノルウェー、カナダ、ジンバブエ	中国、韓国、メキシコ、チェコ、オーストリア、北朝鮮	スリランカ

出典：C J Mitchell (1993) を改変

フレーク状や非晶質グラファイトは広域変成作用と同時進行で形成されているものが多いのに対して、脈状グラファイトは熱水の関与により母岩より後に形成されている（Fetherston, 2015）。フレーク状グラファイトは結晶質で粗粒 (>150μm)～細粒 (70～150μm)の結晶として認められ、非晶質グラファイトは一般に微細 (<70μm)である。脈状グラファイトは総炭素量 (Total Graphitic Carbon: TGC)が高く、グラファイトの結晶は最大4cm以上にもなる。脈状グラファイトはスリランカから産出しており、グラファイト製品の中で最も高い値段で流通している（表3）。

⁵ Fetherston, JM 2015, Graphite in Western Australia, GSWA, Mineral Resources Bulletin 26

⁶ Mitchell, CJ 1993, Flake Graphite, British Geological Survey Technical Report

表3 グラファイト製品の価格（2014年1～3月期）

グラファイト製品	価格 (US\$/t)
非晶質粉末	
中国産	500-550
人工グラファイト	
細粒、97-98%TGC	950-1450
細粒、98-99%TGC	1,000-1,500
フレーク状グラファイト	
細粒、90%TGC、-100mesh (<149 μ m)	750-850
細粒、94-97%TGC、-100mesh (<149 μ m)	850-950
中粒、85-87%TGC、+100~-80mesh (>149 μ m - <177 μ m)	700-800
中粒、90%TGC、+100~-80mesh (>149 μ m - <177 μ m)	900-1,000
中粒、94-97%TGC、+100~-80mesh (>149 μ m - <177 μ m)	1,050-1,150
粗粒、90%TGC、+80mesh (>177 μ m)	1,100-1,150
粗粒、94-97%TGC、+80mesh (>177 μ m)	1,250-1,300
脈状グラファイト	
粗粒 (>10mm)	1,700-2,000

出典：Fetherston (2015) に加筆

天然産フレーク状グラファイトは総炭素量が高く（不純物が少なく）、粒径が大きいものが高価である⁷。粗粒フレークグラファイト価格は2012年まで価格の上昇が続いたが、以降は緩やかな価格の減少が続いている（表4）。脈状・非晶質グラファイトは2015年から価格が上昇に転じている。

表4 グラファイト価格の推移 (US\$/t)

	2010	2011	2012	2013	2014	2015
脈状	1,700	1,820	1,960	1,720	1,870	1,890
フレーク状	720	1,180	1,370	1,330	1,270	1,240
非晶質	257	301	339	375	360	370

出典：USGS Mineral Commodity Summaries 2013, 2014, 2015, 2016

グラファイトを人工的に石油コークスから合成することも可能であるが、現在合成により得られる人工グラファイトは天然産より密度が低く空隙率が高いため、電気伝導性が劣るとされている（Fetherston, 2015）。リチウムイオン電池は天然産の粗粒フレークグラファイトの方が高性能が得られるため、今後電気自動車や家庭用蓄電池の普及にあわせて天然産グラファイトの需要増加が見込まれている。

天然産グラファイトをリチウムイオン電池に使用する球状グラファイトに処理するプロセスを図9に示す。グラファイト鉱床からグラファイト鉱石（10～15%TGC）を採掘し、鉱石を粉砕し、浮選処理を行うことでグラファイトを分離して96%TGC程度のグラファイトが得られる。リチウムイオン電池の負極材に用いる球状グラファイトは、粗粒なフレーク状グラファイトを機械的に球状（ダンゴ状）加工し、加熱による純化处理、さらにコーティング処理を行うことで得られている。なお、球状グラファイトの価格は3,000～3,500US\$/t、コーティング処理がされた球状グ

⁷ USGS Mineral Commodity Summaries 2013, 2014, 2015, 2016

ラファイトの価格は7,000～7,500US\$/t とされている⁸。



出典：Metals of Africa 社資料から作成

図9 天然産グラファイトをリチウムイオン電池に使用するための処理プロセス⁹

各国のグラファイトの埋蔵量はトルコ、ブラジル、中国が圧倒的に多い（表5）。今後の探査によってアフリカのグラファイトの埋蔵量が増加することが期待される。グラファイトの生産量に関して中国が突出している（表6）。中国は2014年の世界のグラファイト生産量の66%を占めている。各国が出荷しているグラファイト製品の粒径や総炭素量を表7に示している。スリランカ産の脈状グラファイトは粒径が極めて大きく、不純物が少ない。

表5 主要国のグラファイトの埋蔵量

国	埋蔵量（'000t）
Turkey	90,000
Brazil	72,000
China	55,000
India	8,000
Mexico	3,100
Total World	230,000

データ出典：USGS Mineral Commodity Summaries 2016

表6 主要国のグラファイトの生産量

国	2012 （'000t）	2013 （'000t）	2014 （'000t）
China	800	750	780
India	160	170	170
Brazil	110	95	80
Canada	25	20	30
North Korea	30	30	30
Turkey	5	5	29
Mexico	8	7	22
Sri Lanka	4	4	4
Total World		1,190	1,190

データ出典：USGS Mineral Commodity Summaries 2014, 2015, 2016

⁸ 2016年2月 Hexagon Resources 社プレゼンテーション資料

⁹ 2016年11月8日 AFR “Things we don't know about graphite”, Metals of Africa

表7 各国で生産されているグラファイトの粒径と品位

生産国	分類	粒径	総炭素量 (%TGC)
中国	Large	80% >300 μ m	85 - 90
	Medium	80% >180 μ m	85 - 90
	Small	50% >180 μ m	80 - 90
マダガスカル	Large	97% >250 μ m	85 - 94
	Medium	97% >180 μ m	80 - 92.5
	Fine	95% <180 μ m	75 - 90
	Extra Fine	N/A	70 - 90
ノルウェー	Large	>150 μ m	85 - 95
	Medium	>100 μ m	85 - 95
	Small	>75 μ m	80 - 95
カナダ	Large	>150 μ m	92 - 95
	Medium	>75 μ m	90 - 94
	Small	<75 μ m	85 - 89
インド	Large	180 - 600 μ m	70 - 88
	Small	<150 μ m	70 - 88
ジンバブエ	Flake 'A'	>160 μ m	86 - 95
	Flake Powder	<160 μ m	80 - 90
スリランカ	Large lump/lump	>10mm	92 - 99
	Chippy dust	<5mm	80 - 99
	Powders	<75 μ m	70 - 99
メキシコ	Amorphous		80 - 90
イタリア	Amorphous		60 - 80
オーストリア	Amorphous		99 - 99

出典：C J Mitchell (1993) を改変

4) まとめ

ADU2016 で発表を行った資源企業各社は、口々に現在のアフリカで鉱業を行う上での最大の問題は電力不足であることを訴えていた。今後のアフリカの鉱山開発はリモートエリアまで電線を引くよりも、オフグリッドで太陽光発電とリチウムイオン電池によるシステムを導入することが一つの選択肢となり得ることが紹介されていた。

今年の ADU ではグラファイトに関する案件紹介が目立った。今後、リチウムイオン電池の生産が増加する見込みであり、球状グラファイトの需要は年々増加していくと予想されているため、オーストラリアの多くの企業がアフリカやオーストラリアで探査プロジェクトを開始している。リチウムイオン電池の負極材として利用可能なグラファイトが求められているため、鉱物粒径が大きく、炭素含有量の高いグラファイトが産する鉱床の発見が必要とされている。埋蔵量も生産量も少ないスリランカ産のグラファイトが高値で流通しているように、規模の小さな鉱床でも高品質なグラファイトが得られることに価値がある。有望なグラファイト鉱床は市場が求めるスペックの製品を提供できることが埋蔵量の大きさよりも重要であると専門家は述べている。

最も薄い炭素の単層シートからなるグラフェンが電池の性能を飛躍的に向上させる先端素材として注目されている。グラフェンは現在グラファイトからの効率的な製造方法が研究されている段階であるが、大量生産が可能になれば今後グラファイトは産業にとってますます重要な素材となり、資源分野で重要な地位を占める可能性がある。

おことわり:本レポートの内容は、必ずしも独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構としての見解を示すものではありません。正確な情報をお届けするよう最大限の努力を行っておりますが、本レポートの内容に誤りがある可能性もあります。本レポートに基づきとられた行動の帰結につき、独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構及びレポート執筆者は何らの責めを負いかねます。なお、本資料の図表類等を引用等する場合には、独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構資料からの引用であることを明示していただきますようお願い申し上げます。