



マクマスタ大学などの原子力教育事情

原子力委員会定例会
2018年10月16日

McMaster University
Department of Engineering Physics

Professor

Canada Research Chair in Nuclear Fuel Cycle and Radioactive Waste Management

長崎 晋也

内 容

- カナダの原子力エネルギー利用の現状
- McMaster Universityの紹介
- McMaster における原子力教育の現状紹介
- Joonhong Ahn教授の資料に基づき、
UC Berkeleyでの教育の紹介

カナダの原子エネルギー利用の現状



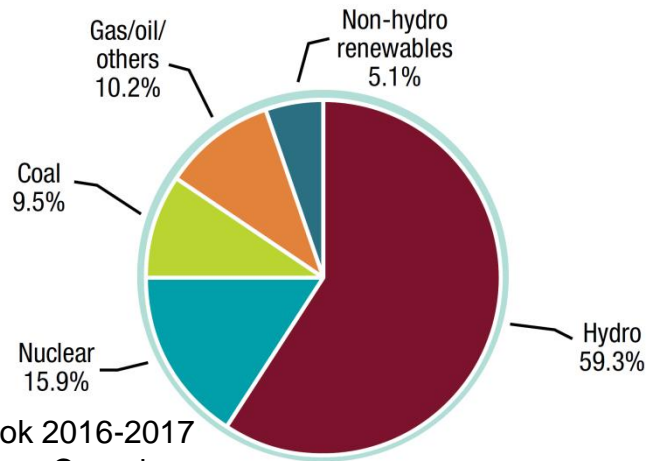
Population: 37 millions (127 millions)

Area: 9,985,000 km² (378,000 km²)

https://www.123rf.com/photo_57132488_stock-vector-canada-map-with-provinces-all-territories-are-selectable-vector-illustration.html

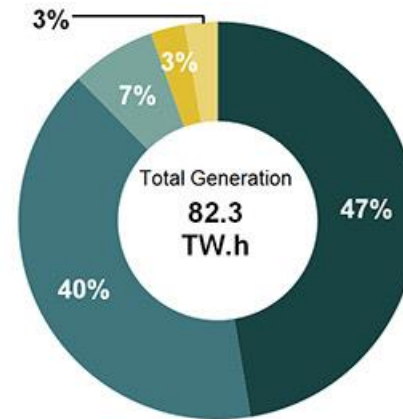
Generation in Canada - 639 TWh (2014)

Generation by source, 2014

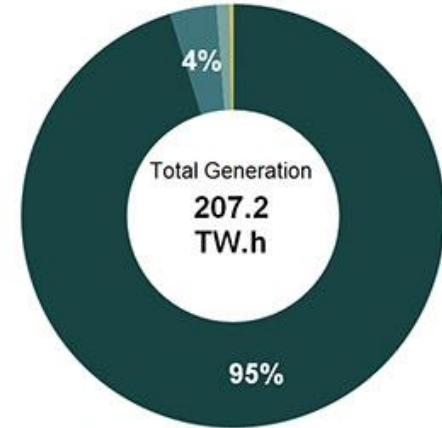


Energy Fact Book 2016-2017
Natural Resources Canada

Ref. Alberta & Quebec (2016)



- Coal & Coke
- Natural Gas
- Wind
- Hydro
- Biomass / Geothermal

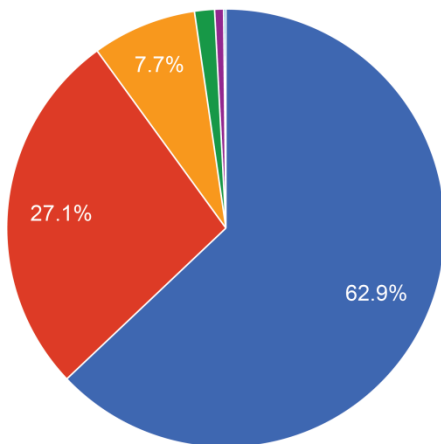


- Hydro
- Wind
- Biomass / Geothermal (1%)
- Petroleum (<1%)
- Natural Gas (<1%)

<https://www.neb-one.gc.ca>

Electricity Generated in O Sep 28 2018 17:45

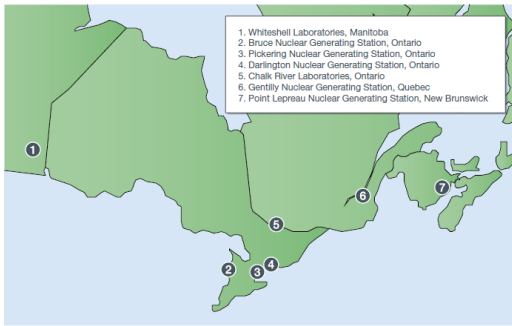
Generation Totals



- NUCLEAR 10552MW
- HYDRO 4540MW
- WIND 1291MW
- GAS 247MW
- SOLAR 111MW
- BIOFUEL 28MW

<https://www.cns-snc.ca/media/ontarioelectricity/ontarioelectricity.html>

Point Lepreau:
up to 30 % of the **New Brunswick's** electricity.



Pickering
(OPG WWW site)



Darlington
(OPG WWW site)



Bruce
(Bruce Power WWW site)

NPP	Capacity (MWe)	Operation company	Operation Start	Operation end (scheduled)
Pickering A1	515	OPG	1971/2005	2022
Pickering A4	515	OPG	1972/2003	2022
Pickering B5	516	OPG	1983	2024
Pickering B6	516	OPG	1983	2024
Pickering B7	516	OPG	1984	2024
Pickering B8	516	OPG	1986	2024
Bruce A1	750	Bruce Power	1977/2012	2035
Bruce A2	750	Bruce Power	1977/2012	2035
Bruce A3	750	Bruce Power	1978/2004	2036
Bruce A4	750	Bruce Power	1979/2003	2036
Bruce B5	860	Bruce Power	1985	
Bruce B6	860	Bruce Power	1984	
Bruce B7	860	Bruce Power	1986	
Bruce B8	860	Bruce Power	1987	
Darlington 1	881	OPG	1990	2025
Darlington 2	881	OPG	1990	2025
Darlington 3	881	OPG	1992	2025
Darlington 4	881	OPG	1993	2025
Point Lepreau 1	635/660	NBP	1983/2012	2037
Total (19 NPPs)	13,553			

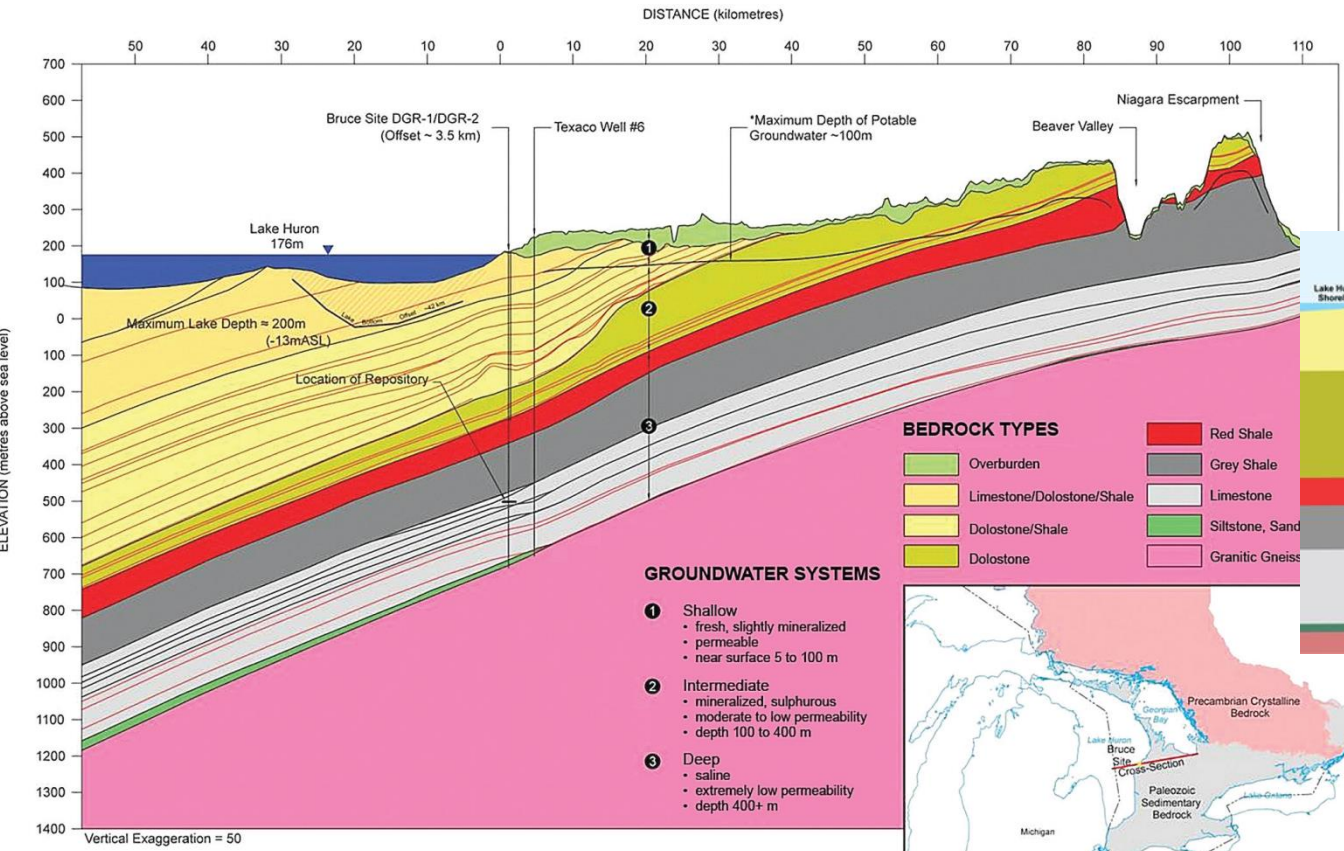
OPG: Ontario Power Generation
NBP: New Brunswick Power

Nuclear Power Stations in Ontario

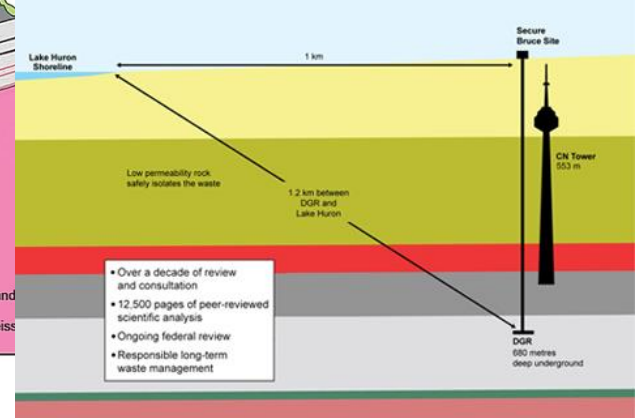


Google mapより

Toronto — Ottawa: 350 km
Downtown Toronto — Pickering: 30 km
— Darlington: 50 km



* Resources: Grey and Bruce Counties Groundwater Study. Final Report July 2003.



Michigan

Lake Huron

Lake St. Clair

Lake Erie

Lake Ontario

Lake Michigan

Georgian Bay

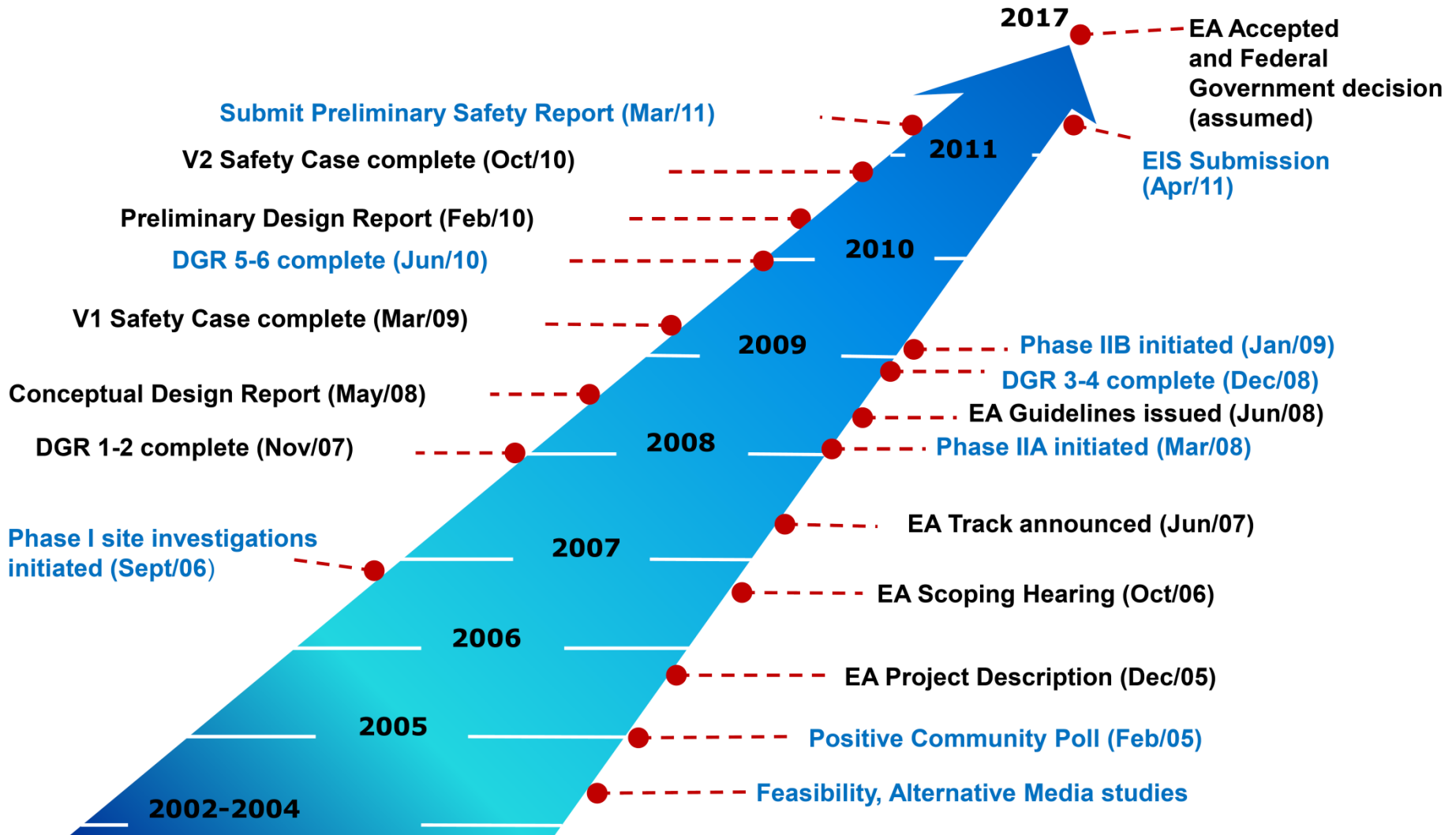
Precambrian Crystalline Bedrock

Paleozoic Sedimentary Bedrock

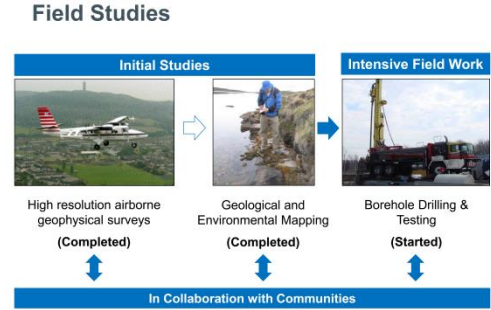
Lake Huron Bruce Site Cross-Section

- OPG has proposed a Deep Geologic Repository (DGR) 680 m below ground.

Bruce DGR Project Timeline



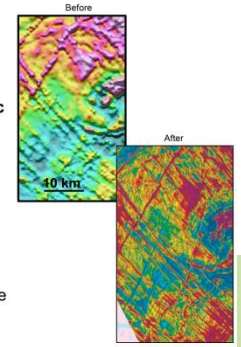
Plan: Start operation in 2025.



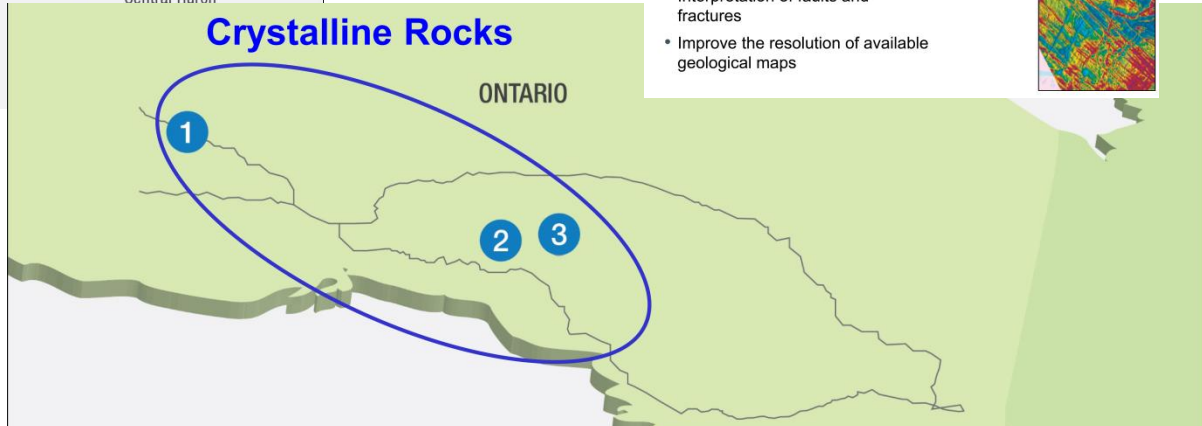
Airborne Geophysical Surveys

Acquire high resolution magnetic and gravity surveys

- Advance understanding of the geology at depth
- Identify rock types and rock volumes
- Interpretation of faults and fractures
- Improve the resolution of available geological maps



Crystalline Rocks



Preliminary Assessments Underway in the Area

1. Ignace
2. Manitouwadge
3. Hornepayne
4. Huron-Kinloss
5. South Bruce

Major Roadways

Community Involvement in Field Studies



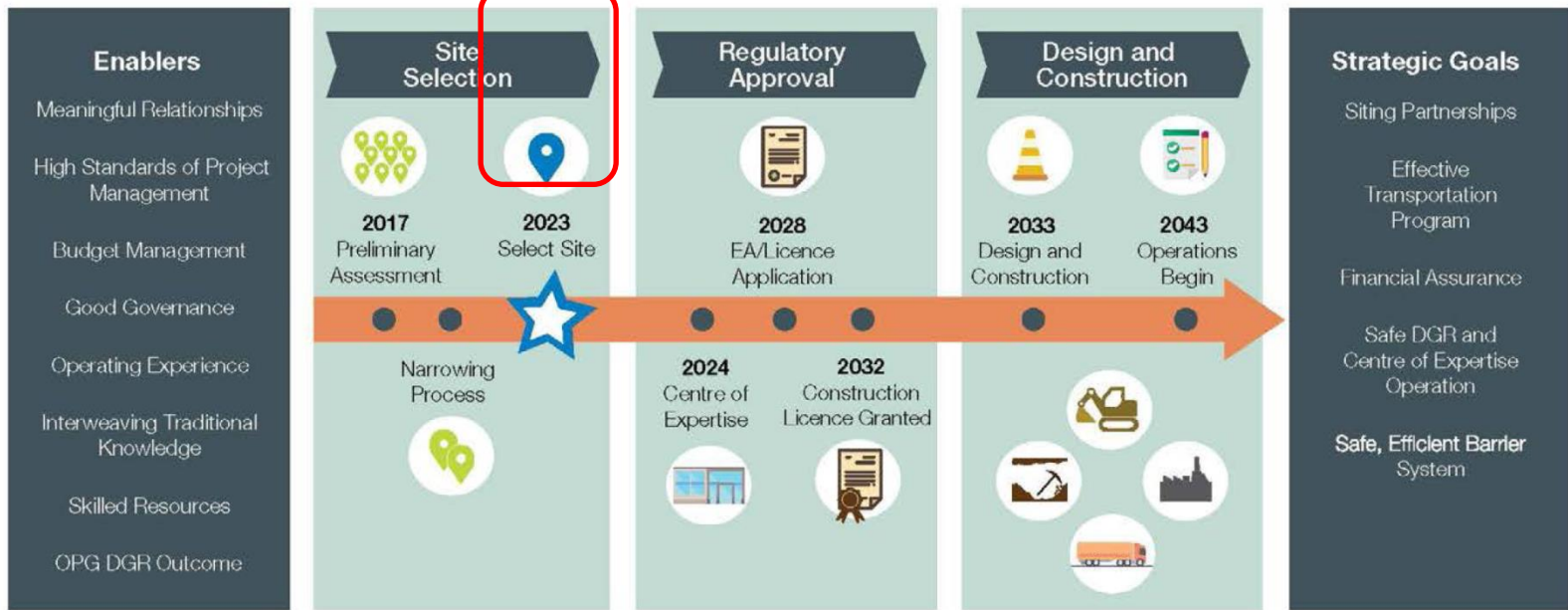
Indigenous Engagement

- Respect for Aboriginal and Treaty rights
- Recognition of positive contributions First Nation and Métis peoples can make to major developments in their treaty area as partners
- Funding for capacity building, land use studies
- Learning and sharing gatherings with elders and youth
- Interweave indigenous knowledge
- Ceremonies



Implementing Canada's Plan for Safe, Long-term Care of Used Nuclear Fuel

Socially Acceptable, Technically Sound, Environmentally Responsible and Economically Feasible



Canadians' Objectives
 Fair, Public Health and Safety, Worker Health and Safety, Community Well-Being, Security, Environmental Integrity, Economic Viability, Adaptability

NWMO Values
 Integrity, Excellence, Engagement, Accountability, Transparency

McMaster Universityの紹介

History & Strength

- **Founded in 1887** in Toronto through a bequest from the estate of Senator William McMaster, a member of the first senate after Confederation and founding president of the Canadian Imperial Bank of Commerce.
- Maroon and grey were adopted as the official colours in 1912.
- Relocated from Toronto to Hamilton in 1930.
- **Celebrated our 125th anniversary in 2012.**
- A medical-doctoral, **research-intensive university** dedicated to teaching, research and service.
- **One of only four Canadian universities** (and one of only two in Ontario) **consistently ranked among the top 100 in the world** by the major global ranking systems.
- The winner of the 2018 Global Teaching Excellence Award from the Higher Education Academy for our strengths in experiential learning and our commitment to global engagement.
- Named Canada's most research-intensive, medical-doctoral university in the October 2017 results from Research Infosource.

Students

- **26,780 undergraduate and 4,485 graduate students**, for a total student population of 31,265 (of which 29,336 are full-time).
- International students represent **107 countries**.
- In fall 2016, international graduate students represented 22 per cent of the graduate student body.

Faculty

- **949 full-time faculty members**, of which 94.6 per cent hold doctoral degrees.
- Full-time faculty members represent **55 countries plus Canada**.
- Outpacing peers in research-intensity, averaging \$405,300 per faculty member -- more than double the national average. ("Research intensity" measures research income per full-time faculty member.)



工学部

Department (学部、大学院)

Department of Chemical Engineering

Department of Civil Engineering

Department of Computing and Software

Department of Electrical and Computer Engineering

Department of Engineering Physics

Department of Materials Science and Engineering

Department of Mechanical Engineering

Gr. 11&12の成績

1年生は工学部へ

1年生の成績で進学先決定

大学院は学部の成績と推薦状

卒業後最初の就職では
成績、学校で学んだことなど
2回目以降は社会経験も

School (大学院のみ)

McMaster School of Biomedical Engineering

W Booth School of Engineering Practice and Technology

(5年間かけて学部を卒業するコース)

Engineering and Management

Engineering and Society

Integrated Biomedical Engineering and Health Sciences

Minors

Coopプログラム (4~16ヶ月の企業経験)

- 高校までは比較的自由。ただし、学校の成績で大学が決まるためランキングの高い高校の学区に教育熱心な家庭(とくに中国、韓国、インドからの移民の家庭)が集まる傾向(住宅価格も高騰)。
- McMasterは良い成績でないと進学できない。このため、進学希望者はかなり真剣に勉強する。
- おそらく背景には、移民への差別、格差社会の現状あり。
- 州に依存するがオンタリオ州ではGr. 9~12は年間40時間のボランティア。

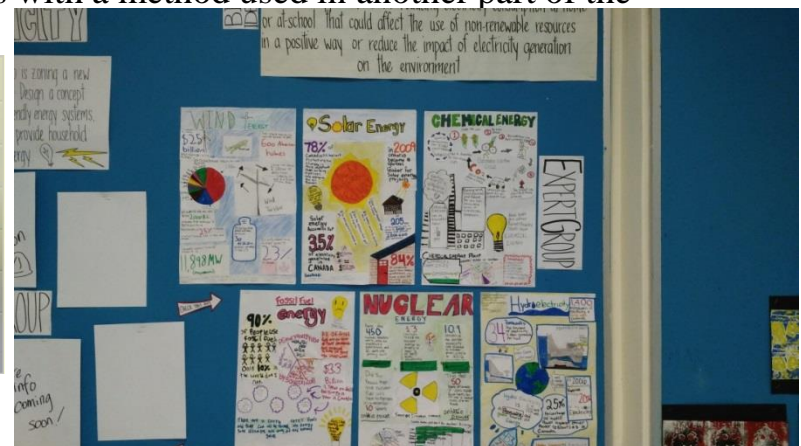
The Ontario Curriculum Grades 1-8 Science and Technology

1.1 assess the short- and long-term environmental effects of the different ways in which electricity is generated in Canada (e.g., *hydro, thermal, nuclear, wind, solar*), including the effect of each method on natural resources and living things in the environment

Sample problems: (a) Electricity in Ontario is generated by **nuclear plants**, hydroelectric plants, coal-fired plants, and natural gas plants, and a small percentage is obtained through alternative energy sources. Choose an electricity-generating plant that supplies electricity in your community, and compare the environmental effects of the generating method it uses with a method used in another part of the province.



OCS Science Fair Awardsより



McMurrich小学校3年生

- 大学生になると真剣に勉強する学生が多い。
- McMaster・工学部の授業料は、オンタリオ州民(カナダ人)の場合、年間およそ1万3千ドル。学生によっては、卒業時大きな借金になる(子供が生まれるとわかった段階で親は学資保険に入ること多。最高はトロント大法学部の3万3千ドル)。投資に見合った教育は当然という感覚。
- 1年修了時に成績不振者には、Collegeを勧めるが、現実には行かない。
- 学生による授業評価、CEAB(後述)による評価などで、講義内容の見直しは頻繁。
- インターンシップ(給料なし・交通費だけということはありません)は盛ん。
- 夏休み中(5月~9月)、研究室に配属されて研究に従事(給料や奨学金も)も。
- 少なくない割合の学生は卒業できない。
- 教員、TA側への要求も明確。レポートは詳細なコメントを付して。成績も明確に。事前に講義・演習の目的を明示し、学期終了後に何を身につけているかも明記。ルブリクスによる評価とそれによる目的の再確認も。実験レポートは次の実験レポート提出に余裕を持って返却。テスト終了後1週間は納得しない学生との時間に。
- 単に教えるだけではなく、メンター制度、チュートリアル時間も講義とは別に。
- 学生の授業評価(バイアス大ということも学術的に示されているが)は、学科長を通して示され、指導も受ける。昇進・昇給・サバティカル取得など様々な場面で利用される。

Canadian Engineering Accreditation Board (CEAB)による工学部教育内容の評価

What does the Accreditation Board do?

The Accreditation Board accredits undergraduate engineering programs. These programs provide the academic requirements for licensure as a professional engineer in Canada.

Why does the Accreditation Board exist?

- To ensure Canada's engineering education system remains amongst the best in the world
- To set national standards for engineering education
- To provide expertise and efficiency in assessing engineering education on behalf of the provincial and territorial engineering regulatory bodies

A KNOWLEDGE BASE FOR ENGINEERING
PROBLEM ANALYSIS

} 12 Attributes (McMasterは13)に基づく授業評価
 学生インタビュー
 教員インタビュー
 現地視察
 前回の宿題への対応など

7年に1度、国内の大学で実施(1~2週間程度)。

改善に関するコメントなど。結果は公開。

PE受験資格直結。 Faculty MemberにもEPが何割いるかも重要。卒業生にリング授与。

McMaster における原子力教育の現状紹介



Department of Engineering Physics

教員数: 17
学部生: 50/year
大学院生: 30/year

原子力工学
バイオメディカル工学
ナノテクノロジー・マイクロシステム工学
フォトニクス工学



学生はどの分野もほぼ均等。
原子力関係講義・演習だけではなく、学科内
あるいは他学科の講義・演習(必須要件)も
受講。

- ・原子炉物理
 - ・原子力システム安全
 - ・熱水力学
 - ・核燃料サイクル・放射性廃棄物管理
- 4人とも、原子力産業界勤務経験あり。

カナダ原子力界のリーダーの多くはMcMaster大学出身者。
(卒業学科は様々)

University of Ontario Institute of Technology(2002年設立)もあるが。
他大学には原子力関係の研究をされている先生がいる。

原子力工学の講義・演習

Engineering Physics提供の講義・演習
&

Health Physics, Medical Radiation Sciences, Faculty of Scienceなどの
講義・演習を通して学習。

ほぼ全ての分野が網羅。かつ成績評価は厳しいため学生は真剣に取り組む。

McMaster炉、Hot Cellなどを利用した教育も。

ただし、東大・弥生炉や京大炉、近大炉などのような柔軟性がないことが指摘
はされている(規制上のため)。

原子力分野を目指す学生は、Engineering Physicsが提供する講義・演習をほ
ぼ全て履修(次の科目履修の必須要件になっている場合が多い)。
他学科分は学生の関心や履修受け入れ・時間割との関係で様々。

Big in McMasterやBig in Canadaは意味がない。グローバルに戦い、生き残れ
る人材育成。

McMasterを中心として、カナダ原子力教育におけるユニークな2点

(1) UNENE (University of Excellence of Nuclear Engineering)

カナダの大学における原子力教育、研究開発能力の支援と開発のための、大学 (McMaster, UOIT, Queens, Western, Waterlooなど)、原子力施設、研究機関、および規制当局からなる連合組織(2002年より)。

Industrial Research Chairs (IRC)へのコミット。

NSERC (The Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada)のプログラム。教育と研究(インフラ整備を含む)の向上・発展。

民間、州も参加。

(例)

- 2008 ORF-RE McMaster-led grant (~\$5M) that established a 5 year *Nuclear Ontario* research network involving six Ontario universities. This grant and the associated leveraged funding from all the NSERC/UNENE IRC's provided 297 HQP-years of training and produced 257 scientific publications.
- 2016 ORF-RE Western-led grant *Analysis tools, measurement techniques and systems for mitigating severe accidents in CANDU nuclear power plants* involving McMaster and UOIT (ongoing).
- Co-PI's (Luxat, Nagasaki) on CREATE Grant, *Canadian Nuclear Energy Infrastructure Resilience under Seismic Systemic Risk (CaN-Risk)*, (Wael el Dakakhni, Civil Eng. PI)
- CFI-MRI funded grant of ~\$24M for Centre for Advanced Nuclear Systems (CANS) (Luxat PI, Novog Co-PI). Established a Post-Irradiation Examination Facility which is the only such facility of its size and capability at a university world-wide.

研究からスタートしているが、大学院と学部教育へのフィードバック大。人材育成が主目的(中間評価でこの評価が低いと継続できない)。原子力界全体の支援を受けるため、少ない教員資源でも教育と研究の両面で成果を挙げることができる。

(2)も同様だが、成果のエビデンスが明確に求められる。民間の要求と納税者への説明責任を果たせるだけのものか。

(2) National Generation IV program

2009年12月 SCWRでのプロジェクト開始

NSERC、カナダ資源省、AECL、20大学、オンタリオ州

SCWR Chemistry and Materials

SCWR Thermalhydraulics and Safety

5年間で\$50M以上の予算

HQP育成、新しい教育・研究プログラム開始、関係機関間の協力体制確立。



小型炉でのプロジェクトの検討中

McMaster中心。主要な原子力関係大学、産業界、NSERC、資源省一体となって

資源省、産業界、NSERCが支援する具体的なプロジェクトは、原子力界には進むべき方向(夢)があるという学生への大きなメッセージ(寿命延長・廃炉以外に仕事がないような斜陽産業ではない)。

UNENE、カナダ大使館も含めて、日本ともHQP育成・研究・福島への参画での協力を強い関心。

最後にJoonhong Ahn教授の資料に基づき、
UC Berkeleyでの教育について紹介。

学部生

- 一般的傾向
 - 日本: 高校までは猛勉強する。大学での勉学意欲の喪失？大企業への就職
 - US: 高校卒業までは受験競争がない。大学入学後の勉強は真剣。同じ仕事を生涯続けることはまれ。(大学のTenureは非常にまれな例。)
- 多くの学生が夏休暇中にインターンなどで仕事を経験する。それを就職時の履歴書に書く。
- 大学内ではDouble major、Joint majorなど比較的柔軟に自己のプログラムを選ぶことが出来る。
- 大学の運営は学部中心。

ABET (Accreditation Board for Engineering and Technology)

- 工学部のカリキュラムの認定。
- 2000年から新システム導入。7年毎のレビュー。
- カリキュラムそのものの整合性(「あるべき」)を重視した過去のシステムから、アウトプットとしての学生の質に重点を置いたシステムへの移行。
- カリキュラムの目的を設定し、それを実現するための整合性の取れた講義などの配置。
 - 各講義間でのシラバスの整合性。
 - カリキュラム目的と各講義の整合性。
- 各科目、学期の初めに学生の状態を測る。
- 倫理、生涯教育、環境など社会的要素を取り入れることを課する。

大学院生

- 分野によって状況は大きく異なる！
- 工学部の場合、すべての大学院生は、何らかの財政的サポートを指導教員、学科、学部、大学から得ていて、自分で学費を払うことはない。
- 必要な生活の経費もサポートされる。
 - \$2,000/月.
- 授業料や給与など含め、カリフォルニア州民の学生の場合、一人当たり年間5万ドル程度の予算が必要。
- 学生と指導教員は雇用関係で結ばれる。
- 優秀な学生は、複数の有力大学に応募しており、有利なサポートの条件を示すことが、優秀な学生を獲得するために必要。

カリキュラム・プログラム

- 大学院入学時に、博士課程・修士課程の明確な区別はない。
- 1学期に3-4個の講義科目をとる。それが2年間続く。
- PhDを目指す場合、
 - Major fieldと2つのMinor fieldsを宣言する必要がある。それぞれに必要な数の単位と成績(GPA>3.5)を取る必要がある。
 - 最初の年に、Screening Exam(筆記試験)を受ける。
 - チャンスは2回
 - 不合格の場合、修士号で終わる。
 - Qualifying Exam: これらがすべて修了したとき、口頭試問を受ける。
 - Qualifying Exam合格後は、給与が増える。
 - チャンスは2回。
 - 2年以内に、論文をまとめて査読の教員から署名をもらう。

Postdoc

- 多くの博士号取得者が、2-3年間、Postdocとして研究をする。
- なるべく多くの単名の論文を書く。
- 指導教員は、単名で書かせる。(自分の名前を入れない！)

授業評価

- 各講義科目、学期最終日に行く。
- 教員は講義室を出て、いれかわりに担当の事務職員が用紙を持って入る。
- 職員は学生から回答済みの用紙を回収し、教員が当該科目の採点を教務部に提出したことを確認して、開封・集計する。
- 集計結果は大学本部、学科長、本人に知らされる。学生も大学のHPを通じて知ることが出来る。
- 教員の昇進・評価に用いられる。
 - 『この講義は自分にとって役に立ったか？』
 - 『この講義は大学にとって必要と思うか？』

長崎追記

留学生との関係も考えてみては。

Joonhong Ahn基金に寄付をしたところ。