



POLITECNICO
MILANO 1863

イタリア・ミラノ工科大学における原子力教育事情について

原子力委員会定例会議
2019年3月26日

Prof. Marco E. Ricotti, Prof. Hisashi Ninokata
Politecnico di Milano, Dept. of Energy
CeSNEF-Nuclear Engineering division

B12, Via La Masa, 20156 Milano, ITALIA
Hisashi.ninokata@polimi.it

www.nuclearenergy.polimi.it



Nuclear
Reactors
Group

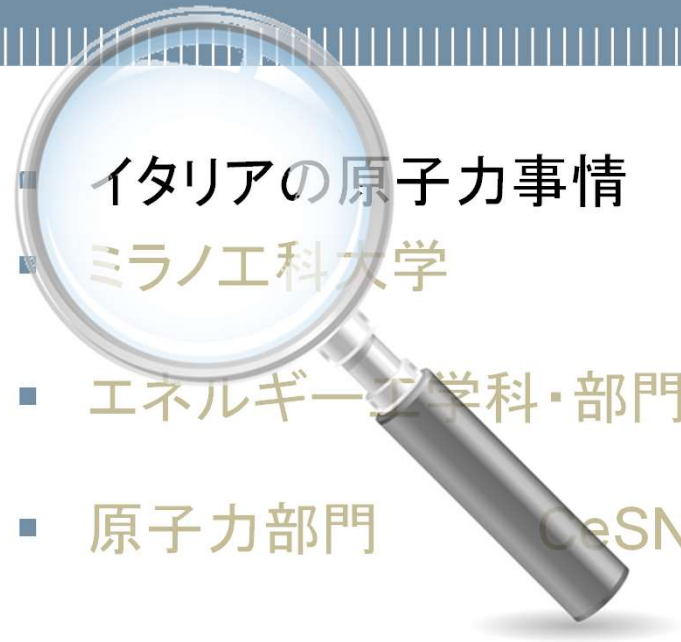
A short overview

Contents

At JAEC
2019.03.26

2

- イタリアの原子力事情
- ミラノ工科大学 Politecnico di Milano
- エネルギー工学科・部門 Department of Energy
- 原子力部門 CeSNEF – Nuclear Engineering Division
- 原子力教育事情
- **Facts & Points**



- イタリアの原子力事情 歴史とチェルノブイル、福島事故の影響
- ミラノ工科大学 Politecnico di Milano
- エネルギー工学科・部門 Department of Energy
- 原子力部門 CeSNEF – Nuclear Engineering Division
- 原子力教育事情
- **Facts & Points**

R & D

- 第二次世界大戦直後民間CISE (Fiat, Edison, ..)
- 1952 CNRN → 1960 CNEN (伊AEC) → 1982 ENEA
Ispra/Casaccia/Brasimone/Bologna, .. 現在は廃炉、廃棄物処分、中小型炉、GEN-IV、加速器ADS、核融合炉、
- 研究炉 1st in ミラノ工大 (1957) 以降14基稼働 Triga (U Pavia, Casaccia), ゼロ出力炉 (U Palermo), 高速炉TAPIRO (Casaccia)
- PEC、SIET

PEC 120MW, Na冷却高速炉実験炉:1972年から建設開始、1987年-91年中止、進捗率75%

SIET 熱流動システムR&Dを請け負う。研究実施会社。1983年設立

- 1962 ENEL社(国策)→1999 EU 電力市場開放政策で分割民営化
- EPR投資、スペイン、仏、スロバキア、ルーマニア

表 イタリアの原子力発電所 [3]

発電所	炉型	電気出力	発電の開始	閉鎖
ラティーナ(中部ローマ郊外)	マグノックス	153MWe	05/1963	12/1987
ガリリアーノ(南部)	BWR	150MWe	01/1964	03/1982
トリノ・ベルチャーゼ(北部)	PWR	260MWe	10/1964	07/1990
カオルソ(北部)	BWR	860MWe	05/1978	07/1990
モタルトディカストロ1&2(中部)	BWR	982MWe	キャンセル	—

- サハラ砂漠での仏核実験の影響
- 科学・技術・知識 一般への浸透 (リテラシーのレベルは?)
- 第一次オイル危機／TMI-2 脱石油、電力安定供給 ・・ 原子力利用促進を謳うが実行できなかった (国民性?)
- 1986年チェルノブイル事故、1987年 国民投票 ・・ 原子力放棄に繋がる
- GHG排出制限・削減目標、金融不安、原油価格高騰、省エネ・再エネの促進、SBOの経験
- ベルルスコーニ政権(2008成立～2012年)、議会において1987年国民投票結果の立法措置の否定(廃止)、原子力への復興を目指す
- 2011年福島事故、同年6月 国民投票 ・・ 1987年の立法措置の再確認となった
(議会の決定を覆したことになる)

投票の争点: 原子力再開計画を許容する新しい法律条文の廃止についての判断を国民に求めたもの

- 原子力利用の是非の判断ではない。イタリアの国民投票制度は、既存の法律の廃止を問う効力のみを有する。
- 原子力関連の場合、原子力を放棄することにより社会がどう変化し、国民生活にどう影響するか等の判断を国民に委ねることには無理があると考えられる

結果のインパクト: 原子力の放棄に繋がった

- 経済活動停滞に直結
- 国の活力低下を加速
- 慢性的な高い失業率は下がらず
- 南北の格差は拡大

- 
- イタリアの原子力事情
 - ミラノ工科大学 Politecnico di Milano since 1863
 - エネルギー工学科・部門 Department of Energy
 - 原子力部門 CeSNEF – Nuclear Engineering Division
 - 原子力教育事情
 - **Facts & Points**

Politecnico di Milano: Technology, Creativity, Culture since 1863

At JAEC
2019.03.26

9



Raphael's "School of Athens" fresco
Euclid

Politecnico di Milano has kept in its logo (from Raffaello's painting) an original and creative attitude

(As of 2015-2016)

STUDENTS

PROFESSORS &
RESEARCHERS

ARCHITECTURE

9.692

307

29% of graduated in Italy
3 out of 10

DESIGN

4.159

114

78% of graduated in Italy
8 out of 10

ENGINEERING

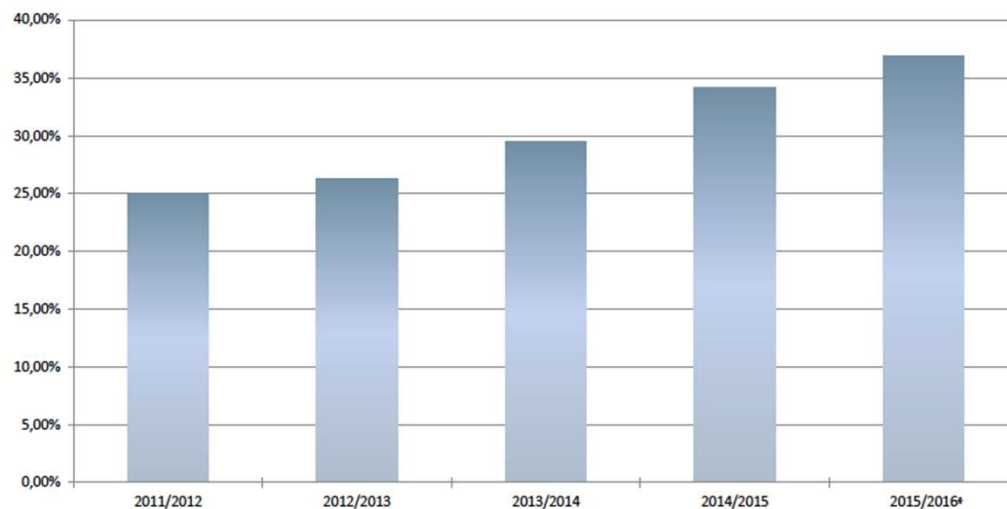
22.787

939

19% of graduated in Italy
1 out of 5

(32,000 in
2018)

Share of International enrollment in MSc



Key figures on students

	2015
Applications (BSc)	17.896
Applications/Enrollment BSc	2,5
Foreign students	6.050
% Foreign MSc	26,7%
% Foreign PHD	28,6%

from 2013-2014 @POLIMI
almost all MSc Degrees are taught in english

Politecnico di Milano: History and Quality

At JAEC
2019.03.26

11



POLITECNICO DI MILANO

150^o

1863-2013

THE LARGEST SCHOOL OF ENGINEERING, ARCHITECTURE AND DESIGN IN ITALY

School of Architecture, School of Urban Planning Construction Engineering, School of Design, School of Civil, Environmental and Land Management Engineering, School of Industrial and Information Engineering

ONE OF THE MOST OUTSTANDING TECHNICAL UNIVERSITIES

QS World University Ranking 2015, Engineering & Technology category:

24th in the World, **7th** in Europe, **1st** in Italy.



Marco E. Ricotti / Hisashi Ninokata



Nuclear
Reactors
Group

POLITECNICO MILANO 1863



1. Be an international university with strong Italian roots

2. Focus **Education on four pillars**

- Technical skills,
- Crosscultural skills
- Crossdisciplinary innovation
- Social responsibility

3. Support the competitiveness of the Ecosystem

- Produce qualified Human Capital for export oriented companies
- Research and innovation dealing with societal challenges

Technology, Creativity and Culture

MSc

International classes, focus on cross-cultural, cross-disciplinary skills

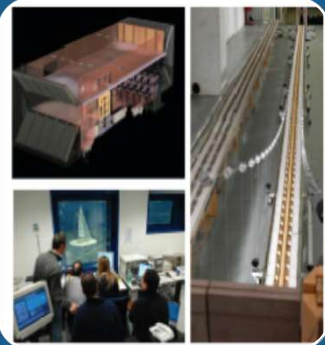
BSc

National classes, focus on disciplinary skills

POLIMI: Large research infrastructures

At JAEC
2019.03.26

13



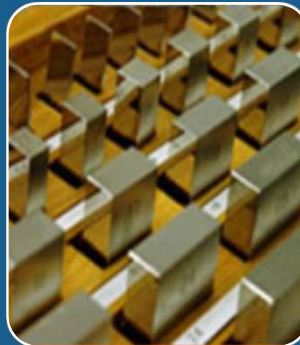
WIND TUNNEL

One of the most advanced laboratories in the world for tests on aerospace system aerodynamics and wind effects structures



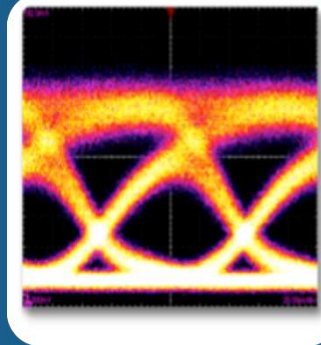
La.S.T.

Laboratory for the Safety of Transport



L.P.M

Experimental activities on materials and structures



PoliFAB (clean room)

Micro-nano fabrication facility
micro- and nano technologies,
Silicon photonics,
Biosensors, MEMS, advanced materials



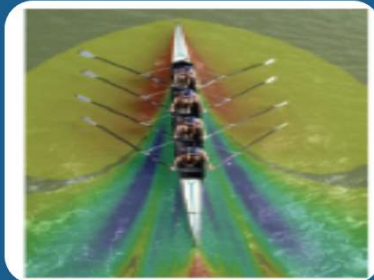
Building B18: Energy Department new Labs

for Chemical and Nuclear Divisions
Advanced integrated labs for catalysis and catalytic processes and nuclear engineering

POLIMI: Large research centers

At JAEC
2019.03.26

14



MOX Mathematical modelling and scientific computing.

- Application to several academics and industrial realities



IIT@POLIMI Center for Nano Science and Technology

- Artificial retina/eye,
- Carbon nanocomposites,
- Hybrid solar cells



EIT ICT Satellite Node

- Smart spaces
- Cloud, networking
- Security, privacy
- Smart energy

標準的な大学教育年齢

学部： 19歳から22歳まで3年間 Laurea

大学院： 22歳から2年：Laurea Magistrale・修士課程

24歳から3年：Dottorato

二学期制：講義は1学期9月上旬12月、2学期3月下旬から6月末

エネルギー工学科・・・学部教育

エネルギー工学部門・・・大学院教育 MSc取得者260名(2018)

(専門課程、専攻)

- イタリアの原子力事情
- ミラノ工科大学
- エネルギー工学科・部門
- 原子力部門
- 原子力教育事情
- **Facts & Points**



Politecnico di Milano

Department of Energy

CeSNEF – Nuclear Engineering Division

The new Department of Energy 2008年から

At JAEC
2019.03.26

17

A new Department since 2008.01.01: Created by joining competencies and researchers belonging to **four departments** traditionally related to the energy sector

- 従来のエネルギー工学科 **Department of Energy Engineering**
- 従来の原子力工学科 **Department of Nuclear Engineering**
- 従来の電気工学科 Department of Electrical Engineering
- 従来の化学、材料および化学工学科 Chemistry, Materials and Chemical Engineering “Giulio Natta” Department (ノーベル賞受賞者に因む)

合流してできた in **one department (DoE)**.

17 research groups into a **single structure** to provide

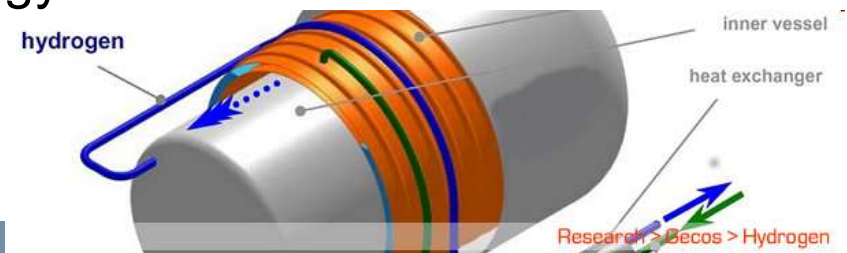
- interdisciplinary approach,
- innovative solutions for complex problems,
- supported by testing in experimental labs



A structure with few analogies in the European context

Mission:

- to push forward technical and scientific competences in the **energy sector**,
- high-level **education**,
- **fundamental and applied** research,
- technology transfer **to industry**,
- to get an influent and independent role in public issues concerning the high-tech and energy fields



Department of Energy

A complete team of Staff

At JAEC
2019.03.26

19

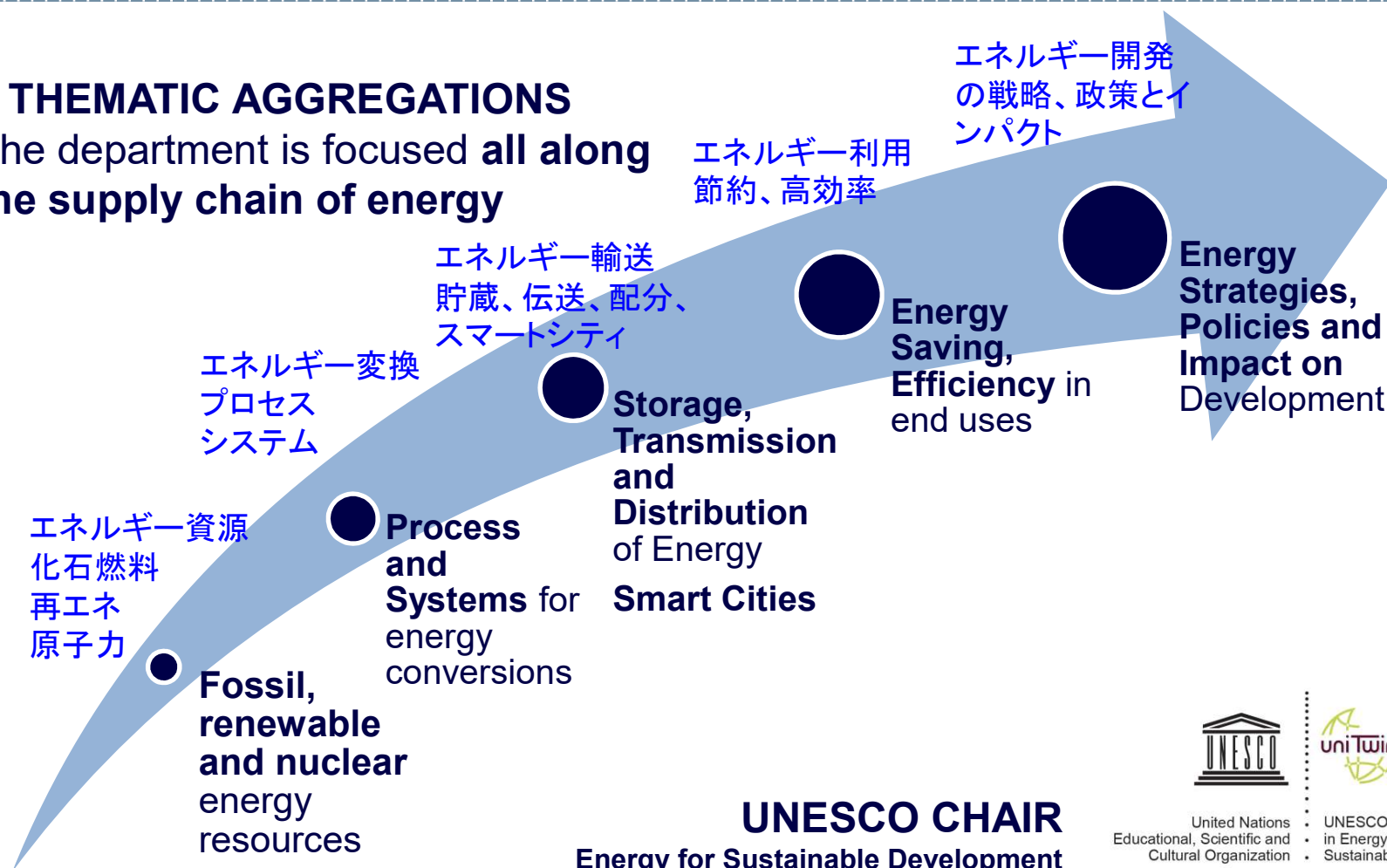
教師陣 約 **330** 名,
外部から専門家若干名



Updated October 2015

5 THEMATIC AGGREGATIONS

The department is focused **all along**
the supply chain of energy



UNESCO CHAIR
Energy for Sustainable Development


United Nations
Educational, Scientific and
Cultural Organization

  **POLITECNICO
DI MILANO**
UNESCO Chair
in Energy for
Sustainable Development

部門の集まり: 5つの分野に特化

Joint researches to study, analyze, develop knowledge, technologies and strategies related to production, conversion, transport, distribution and final use of energy:

1. 化学工学プロセス技術およびナノテクノロジー
2. 電気工学
3. **原子力工学 NUCLEAR ENGINEERING**
4. 流体機械、推進およびエネルギーシステム
5. 熱工学と環境工学



ボビザキャンパス

Bovisa campus

10 000 m²

Experimental Labs



レオナルドキャンパス

Leonardo campus

(ミラノ市中心部に近い)

1 000 m²

Experimental Labs

R&Ds in collaboration with Universities, Research Centres, Companies in Italy and all around the World

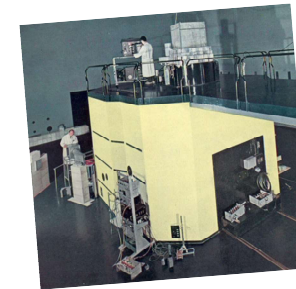
- MIT, GeorgiaTech, Oak Ridge Nat Lab, Ohio State Univ, Stanford, ...
- UOIT (オンタリオ工科大学), Chalmers Univ, TU Delft, Univ. of Valencia, CNRS (仏国立科学研究センター), KTH Royal Institute, Paul Scherrer Institut, Univ. Cambridge, Univ. Oxford, TU Munich, EPFL (ローザンヌ), ETH Zurich, Karlsruhe Inst. Technology, ...
- 東京工業大学, University of Queensland, ...
- ランボルギーニ, フィアット, ENI, ENEL, Paggio-Aprilia, メルセデス, BMW, アンサルド・エネルギー, エディソン, E.On, ワールプール, EdF, DCNS, ...

- イタリアの原子力事情
- ミラノ工科大学 Politecnico di Milano
- エネルギー工学科・部門 Department of Energy
- 原子力部門 CeSNEF – Nuclear Engineering Division
- 原子力教育事情
- **Facts & Points**



History

- First educational programme in Nuclear Engineering (1956) イタリアで最初の原子力工学科
- First research nuclear reactor (50kW) in Italian Universities (1957 '59 ~ '79)
- CeSNEF: Centro Studi Nucleari Enrico Fermi
- 2008年レオナルドキャンパスからボビザキャンパスに引っ越し、エネルギー工学部門に合流



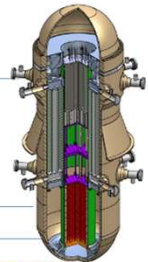
Today

- ヨーロッパで最大の原子力工学科、>40 入学者／年、65 (2017-18)
- 修士課程、博士課程全て英語で講義
- 最新の放射線化学・物理・核医学等実験研究棟B18
- パビア大学の TRIGA 原子炉での研究教育
- SIET (Piacenza)での実験・・・大学の実験ループの管理運営のアウトソーシング

Largest NE Division in Italian Universities

Nuclear Reactors group

thermal hydraulics (experim.&modelling), thermal mechanics, fuel performance, dynamics & control, safety analysis, economics



RAMS group

soft methods (fuzzy, neural networks,...) for maintenance/reliability optimization and risk analysis purposes



Radiochemistry group

wet- and pyro-processes for partitioning, confinement in inorganic matrices, methods for waste characterisation



Radiation Protection group

dosimetry, radon, decommissioning processes



Radiation Measurement & Instrumentation group

medical applications, electronics for radiation measurement devices



Reactor Physics and Contaminants group

MCNP methods for neutronics and particle transport, contaminant transport in porous media



Nuclear Engineering Experimental labs B18 since 2015

新しい原子力工学実験研究棟B18 と SIET

At JAEC
2019.03.26

27

■ 最新の原子力工学実験棟B18:

- ❑ 2015年に完成
- ❑ >25億円POLIMI investment
- ❑ ~60% for 原子力, ~40% for 化学
(エネルギー工学部門)
- ❑ 6000 m² 総床面積, 3000 m² 実験床面積
(+ bunker for 放射線源利用実験)
- ❑ 放射線化学, 放射線防護,
放射線計装・計測の電子回路、校正とテスト
ティング

福島事故後ヨーロッパでは唯一
大学に新たに設置は世界に類をみ
ない。原子力を放棄している国が
投資新設したことに意義がある



- **SIETシエト (Piacenza):** 原子炉コンポーネントおよびシステムの大規模熱流動／安全性試験を行う研究実施会社。世界最高の品質保証と技術を誇る。CeNEFの試験を管理(アウトソーシング)

N

ni Ninokata



Nuclear
Reactors
Group

POLITECNICO MILANO 1863

- イタリアの原子力事情
- ミラノ工科大学 Politecnico di Milano
- エネルギー工学科・部門 Department of Energy
- 原子力部門 CeSNEF – Nuclear Engineering Division
- 原子力教育事情
- **Facts & Points**

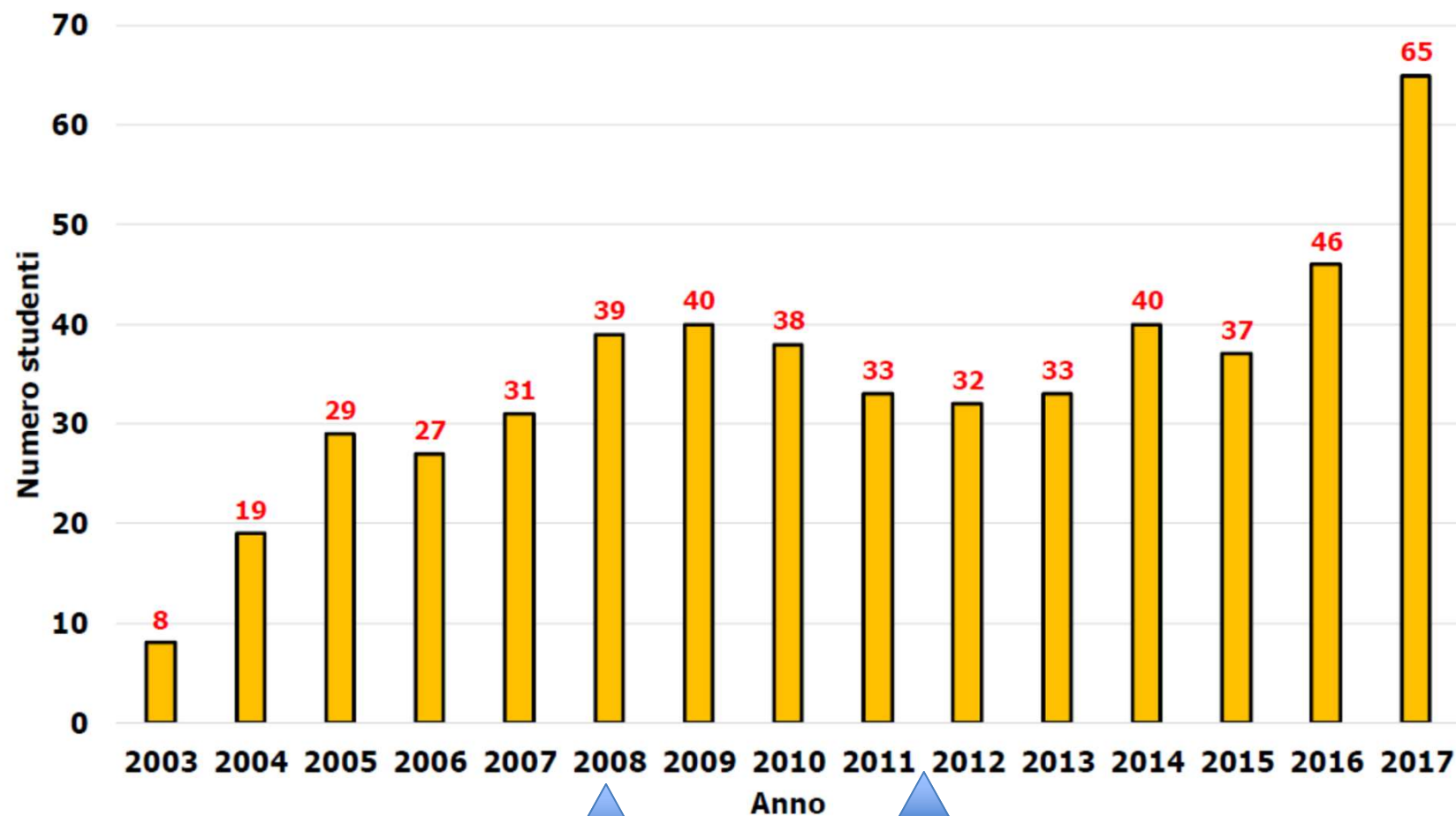


原子力コース(修士課程)への入学者推移

At JAEC
2019.03.26

29

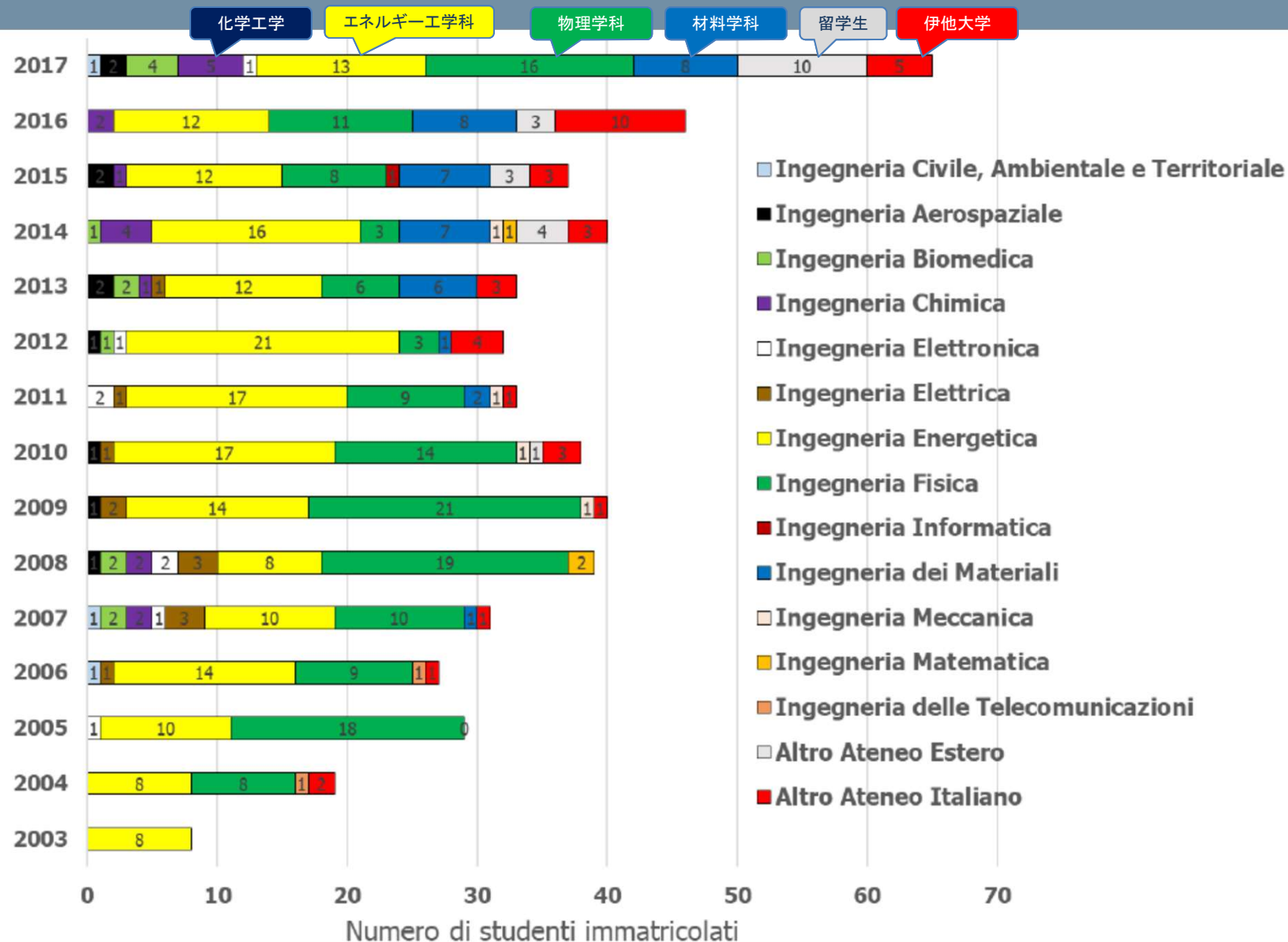
Numero totale di studenti **immatricolati** (anni 2003 - 2017)



入学者の出身母体推移

At JAEC
2019.03.26

30



- Erasmus計画: 欧州諸国の高等教育機関の交流を盛んにして教育の質を上げることを目的
- 1989年 ヨーロッパ単位互換制度ECTSの確立
- ECTSを高等教育段階の学修量の指標(単位)、課程修了の要件
- 1ECTSの学修量に見込まれる成果＝標準的な学生が25時間の学修によって獲得すると見込まれる成果 (ミラノ工大の場合)
- 5ECTSの科目＝40～45時間授業＋予習・復習・宿題・課題学習などに80～85時間＝合計125時間の学修 (ミラノ工大の場合)
- 修士課程の平均的学生に課せられる学修時間:
 - 1学期30ECTS～750時間
 - 年間60ECTS～1500時間
 - 修士号を取得するまでの2年間では合計3000時間

Structure of the courses during the first year of the MSc in NE:

NE MSc - 1st Year (60 credits – courses)	Semester	ECTS Credits
Courses to be chosen from List T	-	20
FISSION REACTOR PHYSICS	I	10
RADIATION DETECTION AND MEASUREMENTS	II	10
DYNAMICS AND CONTROL OF NUCLEAR PLANTS (with TRIGA reactor exp.)	II	10
SOLID STATE PHYSICS	II	10
RELIABILITY, SAFETY AND RISK ANALYSIS	II	
NUCLEAR AND INDUSTRIAL ELECTRONICS	I	

NE MSc - 1st Year List T	Semester	ECTS Credits
INTRODUCTION TO NUCLEAR ENGINEERING	I	10
HEAT AND MASS TRANSFER I	I	5
HEAT AND MASS TRANSFER II	I	5
INTRODUCTION TO QUANTUM PHYSICS	I	5
MATHEMATICAL METHODS IN ENGINEERING	I	5
NUMERICAL METHODS IN ENGINEERING	I	5
...	...	...

NE MSc – 2nd Year (45 credits – courses + 15 credits – final thesis work)	
main courses	ECTS Credits
NUCLEAR DESIGN AND TECHNOLOGY	10
APPLIED RADIOCHEMISTRY	10
FISSION REACTOR PHYSICS II + RADIOACTIVE CONTAMINANT TRANSPORT	10
PHYSICS OF NUCLEAR MATERIALS	5
MEDICAL APPLICATIONS OF RADIATION FIELDS	10
ADVANCED THERMAL HYDRAULICS AND SAFETY OF NUCLEAR REACTORS	5
SAFETY ASSESSMENT OF RADIOACTIVE WASTE REPOSITORIES	5
NUCLEAR POWER PLANTS OPERATION AND MAINTENANCE	5
Final Thesis Work	15

Note: a 10 credits course is usually set up by 65 hours of lectures and 30 hours of exercise.

修士課程2年目に3つの履修コースに分かれる

At JAEC
2019.03.26

34

Structure of the courses during the second year of the MSc in NE:

NE MSc – 2nd Year (60 credits)																	
NUCLEAR PLANTS			13名			NUCLEAR TECHNOLOGIES			21名			NUCLEAR SYSTEMS PHYSICS			31名		
			Sem	ECTS				Sem	ECTS				Sem	ECTS			
NUCLEAR DESIGN AND TECHNOLOGY			I	10	MEDICAL APPLICATIONS OF RADIATION FIELDS			I	10	NUCLEAR DESIGN AND TECHNOLOGY			I	10	MEDICAL APPLICATIONS OF RADIATION FIELDS		
APPLIED RADIOCHEMISTRY			II	10	NUCLEAR DESIGN AND TECHNOLOGY			I	10	NUCLEAR DESIGN AND TECHNOLOGY			I	10	APPLIED RADIOCHEMISTRY		
Comput. methods for reliab., availab. and maintenance + Safety Assess. of Radioactive Waste Repositories			II		APPLIED RADIOCHEMISTRY			II		APPLIED RADIOCHEMISTRY			II		Plasma Physics I + II		
Physics of Nuclear Materials + Experimental Nuclear Reactor Kinetics (at TRIGA reactor)			I	5+5	Applied radiation protection + Internal contamination			II		Physics of Nuclear Materials + Physics of Disordered Materials			I	5+5	Physics of Nuclear Materials + Physics of Disordered Materials		
Fission Reac. Phys. II + Radioactive Contaminant Transport			I		Fission Reactor Physics II + Radioactive Contaminant Transport			I		Fission Reactor Physics II + Radioactive Contaminant Transport			I		Fission Reactor Physics II + Radioactive Contaminant Transport		
Applied radiation protection + Internal contamination			I		Statistical Physics			I		Statistical Physics			I		Statistical Physics		
Courses to be chosen from List IN			-	15	Courses to be chosen from List TN			-	15	Courses to be chosen from List FSN			-	15	Courses to be chosen from List FSN		
Final Thesis Work (15 ECTS)																	



- 入学者の7割から8割が規定の2年間で修了
- 30%～55%博士課程に進学。エネルギー工学部門全体では7%～10%であるから原子力専攻の修了生の博士進学率は高い
- 就職状況は極めて良好。イタリア全体の若者の失業率が凡そ3割を超えていることからすると特異点的（次のスライド参照）
- 外国での就職は2割程度。PhDになると割合は高くなる。

NUCLEAR ENGINEERING

Employment Statistics 2018 - Master of Science Graduates

The annual employment survey targets MSc graduates, interviewed 12 months after graduation.
Master of Science graduates in Nuclear Engineering at Politecnico di Milano were 25 from Milano Campus in 2016.
Total interviews: 20, coverage rate: 76,9%.





employed

100%



time to find a job

100%

within 6 months*

0%

7-12 months

*including graduates who have found an employment at the time of graduation



salary

€ 1.786

net monthly average



where they work



Italy **77,8%**
Abroad **22,2%**

2,5% italian graduates working abroad
0% international graduates working in Italy



employer size



+500 employees **33,3%**
50-499 employees **22,2%**
1-49 employees **44,5%**



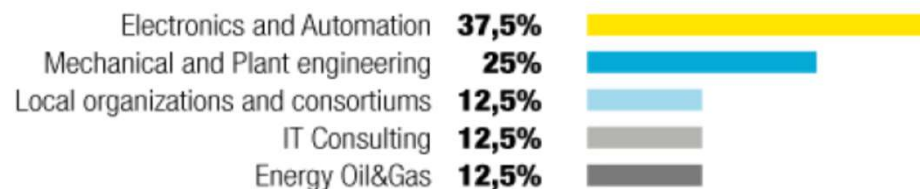
contract type



Permanent **44,4%**
Temporary **22,3%**
Apprenticeship **11,1%**
Internship **0%**
Other **11,1%**
Self-employed **11,1%**



employment sector (top 5)



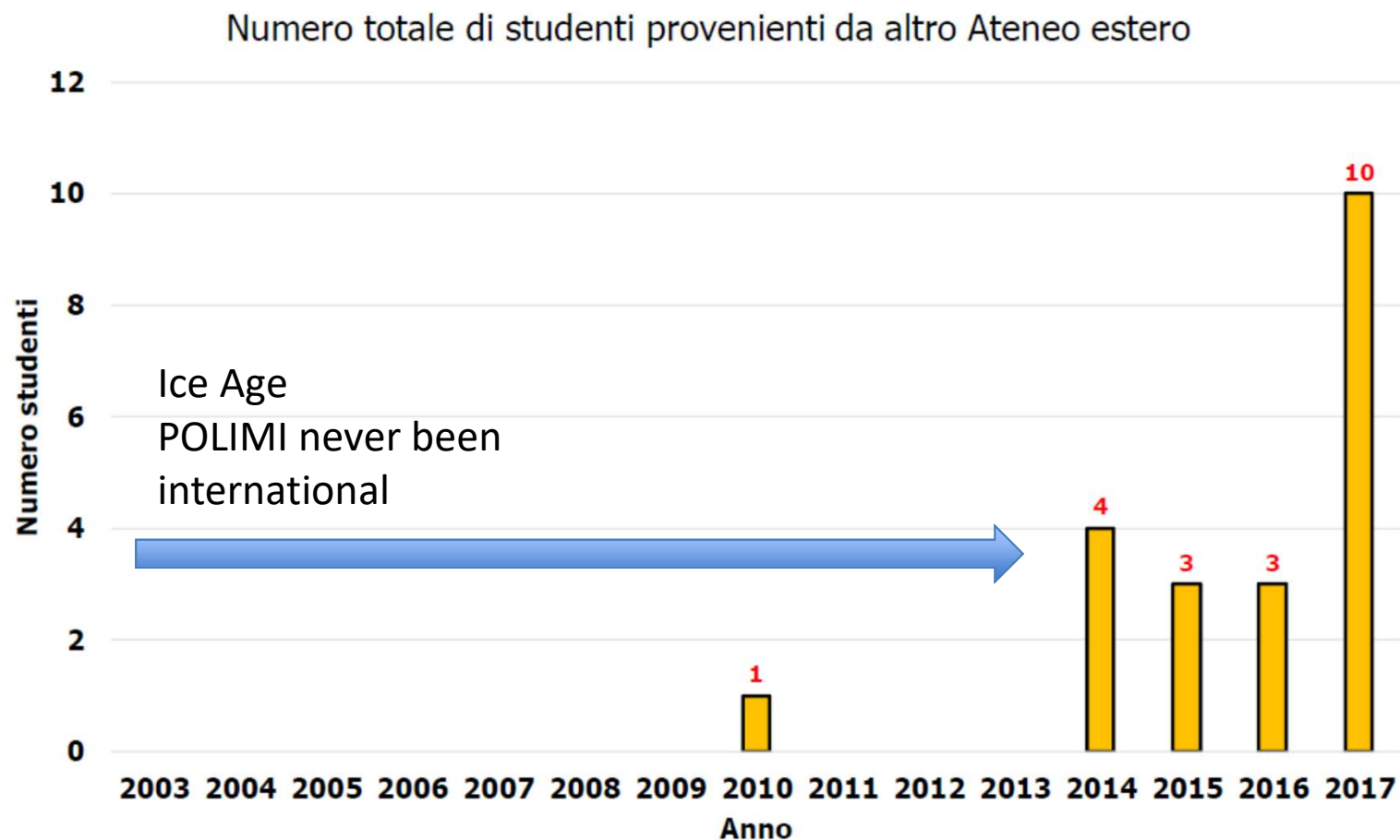
- イタリアの原子力事情
- ミラノ工科大学 Politecnico di Milano
- エネルギー工学科・部門 Department of Energy
- 原子力部門 CeSNEF – Nuclear Engineering Division
- 原子力教育事情

Facts & Points



1. 近年MScコースへの入学者が増加中。
30～40名が60～70名に(2017-2018)
2. 留学生の増加
3. MScコースの学生の興味はプラズマ・核
物理、核医学、核融合炉、核分裂炉の順
4. インターンシップのすすめ。20%以上の
学生が国外での経験を積む
5. 良好な就職。原子力以外(国内)。IT産業、
システム・ソフト関係他

1. エネルギー工学部門の中での存在が
重要
2. PR努力と英語授業の徹底
3. 進学してきてから中小型炉、GEN-IV、
高速炉への興味を持つ学生が増える
4. インターンシップ制度の整備、エラスム
ス計画、Poly²Nuc、CIRTEN、...
5. 優秀な学生＋高い質の教育。原子力
はつぶしが効く



- 1) 原子力工学部門がエネルギー工学科・部門に合流(2008年)したこと
利点:学部時代に一般的な物理、化学、情報、生物や基礎工学を学んだ学生達は、同じエネルギー工学部門の中に核、放射線を冠した分野の姿を、学んだ知識の延長線上にしっかりと捉えている
- 2) 理学系とくに物理系学生がエネルギー工学科学部入学後、講義や野外活動を通して原子力に興味を持ち始めることが多い
- 3) 修士課程入学後、講義などを通して原子力プラントに興味を持ち始める
- 4) 属する組織、教員の**教育への努力**が学生の原子力への興味を惹きつける。講義がポイント。
 - 世界最古の大学の成り立ちからも教育第一の発想。
 - 講義の中身に部門のチェックが入る。
 - 学生との面談を常日頃から行う義務。
 - 研究の暇がない ← 教授陣のホンネ
- 5) 新研究棟B18のスポンサーはイタリアの文科省。予算措置は福島事故でもキャンセルされなかった。イタリア政府は原子力発電を放棄しても、原子力工学が**学問である以上、放棄しない**。入学希望する学生がいる以上、大学の原子力工学科を廃止しないし改組もしない。

- 6) 原子力工学コースは学生とイタリア文科省によって支えられている
- 7) 卒業生の評判は極めて高い。米国大学博士課程入学に優先的に受け入れる教授もいる(個人的に)。米国の著名な大学の教授陣にイタリア出身、イタリア系、最近はミラノ工大出身者が多い。
- 8) 人材供給大学。イタリア国内に受け入れる素地がない(原子力産業がない)。不幸なねじれ現象。
- 9) 原子力産業がない以上、いずれ息切れ→ 自助努力要
 - 欧州域内での競争的資金の獲得
 - 留学生の獲得
 - 新規原発大国の中国大学とのダブルデGREEプログラムの確立

など

イタリア・ミラノ工科大学における原子力教育事情について

END

